Arbeitsgemeinschaft
Ecologic Institut gGmbH /
HYDOR Consult GmbH

Überprüfung der Auswirkungen des kooperativen Gewässerschutzes in Nordrhein-Westfalen

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen (Vergabe 15/145.1)

Erarbeitung:

Arbeitsgemeinschaft:

Ecologic Institut gemeinnützige GmbH
Pfalzburger Str. 43 / 44
10717 Berlin
&
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40
13507 Berlin.

Im Auftrag von:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft
Natur- und Verbraucherschutz NRW
Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf

April 2020

Impressum

Verzeichnis der Autor*innen:

Ecologic Institut gGmbH:
Dipl. Geol. Rodrigo Vidaurre
M. Sc. Hannes Schritt
Dr. Ana Frelih-Larsen

HYDOR Consult GmbH:
Dipl. Geol. Dr. Stephan Hannappel
M. Sc. Alexander Strom
M. Sc. Claudia Köpp

Inhalt

1 Kurzfassung 17
2 Einleitung 18
2.1 Veranlassung 18
2.2 Dialoggespräche 19
2.3 Zielsetzung der Studie 19
2.4 Struktur des Projektes 20
3 Das kooperative Modell des Trinkwasserschutzes in NRW 22
3.1 Historische Entwicklung des kooperativen Gewässerschutzes 22
3.2 Bisherige Untersuchungen zum kooperativen Gewässerschutz in NRW 23
3.3 Erfahrungen aus anderen Bundesländern 25
3.3.1 Thüringen 26
3.3.2 Baden-Württemberg 26
3.3.3 Bayern 27
3.3.4 Niedersachsen 29
4 Auswahl der Gebietskulisse und Kurzcharakterisierung der ausgewählten Kooperationen 31
4.1 Vorgaben der Leistungsbeschreibung 31
4.2 Orientierende Kriterien der Gebietsauswahl 31
4.3 Finale Gebietsauswahl zur Durchführung der Studie 37
4.4 Datenrecherche relevanter Informationen 40
4.4.1 Behördliche Daten und Informationen 40
4.4.2 Daten und Informationen von Wasserversorgungsunternehmen 41
4.5 Kurzcharakterisierung der Kooperationen 42
4.5.1 Emmerich-Helenenbusch 43
4.5.2 Mussum 44
4.5.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp 45
4.5.4 Hartefeld 47
4.5.5 Kooperation Nettetal - WSG Kaldenkirchen, Breyell und Lobberich 48
4.5.6 Lüttelbracht 49
4.5.7 Gatzweiler 51
4.5.8 Dülken-Boisheim 53
4.5.9 Hastenrather Graben 53
4.5.10 Eicks-Mehlenbach 55
4.5.11 Weiler 57
4.5.12 Zündorf 57
4.5.13 Meindorf 57
4.5.14 Kinderhaus 59
4.5.15 Hedem 61
4.5.16 Boker Heide 63
4.5.17 Stevertalsperre (Teileinzugsgebiet Funne) 64
4.5.18 Kerspetalsperre 67
5 Datenrecherche 69
5.1 Landwirtschaftliche Datenbestände 69
5.1.1 Kooperationsvereinbarungen, Maßnahmenkataloge, Informationen zu Maßnahmengestaltung und -umfang 69
5.1.2 Herbst-N_{min}-Datensätze 70
5.1.3 Charakterisierung der landwirtschaftlichen Intensität um die WSG 71

5.2 Wasserwirtschaftliche Daten ... 72
5.2.1 Wasserwirtschaftlicher Anlagenbestand ... 72
5.2.2 Informationen zur Grundwasserdynamik ... 76
5.2.3 Abflussdaten oberirdischer Gewässer ... 76
5.2.4 Nährstoffkonzentrationen in oberirdischen Gewässern und im Grundwasser ... 77
5.2.5 Weitere hydrochemische Indikatorparameter des landwirtschaftlichen Einflusses ... 78
5.2.6 Konzentrationen von Pflanzenschutzmitteln in oberirdischen Gewässern ... 79
5.3 Akzeptanzanalyse für die Kooperationsarbeit ... 79
6 Methodische Vorgehensweise ... 80
6.1 Analyse landwirtschaftlicher Datenbestände ... 80
6.1.1 Flächengewichtete Herbst-N_{min}-Werte als Indikator der mittleren Stickstoffbelastung im Herbst ... 81
6.1.2 Zusammenhang zwischen angebauten Kulturen und Herbst-N_{min}-Werten ... 81
6.1.3 Schätzung der Maßnahmenwirkung – Vergleich von Flächen im WSG mit und ohne Maßnahmen ... 81
6.1.4 Schätzung der Minderungswirkung in einem WSG – Vergleich mit Flächen ohne Maßnahmen ... 83
6.2 Berechnung der Sickerwasserverweilzeit ... 87
6.3 Ausweisung von Zustromgebieten zu Grundwassermessstellen ... 90
6.4 Analyse von Daten zur chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern ... 96
6.4.1 Analyse hydrochemischer Parameter im Grundwasser und Trendermittlung ... 96
6.4.2 Analyse hydrochemischer Parameter in oberirdischen Gewässern ... 98
6.5 Akzeptanzanalyse von Trinkwasserschutzmaßnahmen und Kooperationsarbeit in den untersuchten Wasserschutzgebieten ... 101
7 Ergebnisse der Untersuchungen ... 104
7.1 Stickstoffgehalte aus Bodenuntersuchungen (Herbst-N_{min}) ... 104
7.1.1 Emmerich-Helenenbusch ... 104
7.1.2 Mussum ... 110
7.1.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp ... 115
7.1.4 Hartefeld ... 121
7.1.5 Kooperation Nettetal: WSG Breyell, Lobberich, Kaldenkirchen-Grenzwald ... 130
7.1.6 Lüttelbracht ... 137
7.1.7 Gatzweiler ... 144
7.1.8 Dülken-Boisheim ... 151
7.1.9 Weiler ... 160
7.1.10 Zündorf ... 168
7.1.11 Boker Heide ... 175
7.2 Analyse von Daten zur chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern ... 179
7.2.1 Emmerich-Helenenbusch ... 179
7.2.2 Mussum ... 185
7.2.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp ... 189
7.2.4 Hartefeld ... 195
7.2.5 Kaldenkirchen-Grenzwald ... 203
7.2.6 Breyell und Lobberich ... 207
7.2.7 Lüttelbracht ... 211
7.2.8 Gatzweiler ... 216

7.2.9 Dülken-Boisheim ... 223
7.2.10 Hastenrather Graben ... 228
7.2.11 Eicks-Mehlenbach ... 231
7.2.12 Weiler ... 235
7.2.13 Zündorf ... 237
7.2.14 Meindorf ... 240
7.2.15 Kinderhaus ... 245
7.2.16 Hedem ... 249
7.2.17 Boker Heide ... 252
7.2.18 Stevertalsperre (Teileinzugsgebiet Funne) ... 257
7.2.19 Kerspetalsperre ... 267
7.3 Akzeptanzanalyse von Trinkwasserschutzmaßnahmen und Kooperationsarbeit in den untersuchten Wasserschutzgebieten ... 273
7.3.1 Informationen zum Betrieb / Informationen zur Kooperationsarbeit ... 273
7.3.2 Fragen zur Kooperationsarbeit allgemein ... 277
7.3.3 Fragen zu Flächenmaßnahmen ... 280
7.3.4 Fragen zur Beratung ... 283
8 Zusammenfassende Bewertung und gutachterliche Handlungsempfehlungen ... 285
8.1 Erfolge und Misserfolge des kooperativen Gewässerschutzes ... 285
8.1.1 Einleitende Bemerkungen ... 285
8.1.2 Systematische Ermittlung der Wirkung auf Maßnahmenebene ... 287
8.1.3 Systematische Ermittlung der Effizienz auf Kooperationsebene ... 291
8.1.4 Zusammenhang der Kooperationserfolge mit landwirtschaftlicher Intensität – „Störfaktoren“. 296
8.2 Handlungsempfehlungen ... 298
8.2.1 Voraussetzungen für Effizienzkontrollen und Optimierungsmöglichkeiten ... 298
8.2.2 Empfehlungen für die Arbeit der einzelnen Kooperationen ... 302
8.2.3 Empfehlungen an die für die Kooperationsarbeit in NRW zuständigen Behörden ... 304
8.2.4 Vergleich mit WRRL-Beratung und Agrarumweltmaßnahmen ... 307
8.2.5 Fortschreibung 12-Punkte-Programm ... 310
8.2.6 Fortschreibung Kooperations-Rahmenvereinbarung ... 311
9 Literatur ... 313
9.1 Veröffentlichungen (inklusive Gesetzestexte und online abrufbare Dokumente) ... 313
9.2 Unveröffentlichte Dokumente, Gutachten, Berichte, Vorträge ... 320
10 Anhänge ... 323
10.1 Leistungsbeschreibung zur Erstellung der Studie, Vergabe-Nr. 15/145.1 vom 21.12.2016
10.2 Übersichtskarten zur Belastung mit Nitrat bzw. PSM und Trends
10.2.1 Emmerich-Helenenbusch
10.2.2 Mussum
10.2.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp
10.2.4 Hartefeld
10.2.5 Kaldenkirchen-Grenzwald
10.2.6 Breyell und Lobberich
10.2.7 Lüttelbracht
10.2.8 Gatzweiler
10.2.9 Dülken-Boisheim
10.2.10 Hastenrather Graben
10.2.11 Eicks-Mehlenbach

10.2.12 Meindorf
10.2.13 Kinderhaus
10.2.14 Hedem
10.2.15 Boker Heide
10.2.16 Stevertalsperre (Teileinzugsgebiet Funne)
10.2.17 Kerspetalsperre
10.3 Ganglinien zu Nitrat bzw. PSM
10.3.1 Emmerich-Helenenbusch
10.3.2 Mussum
10.3.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp
10.3.4 Hartefeld
10.3.5 Kaldenkirchen-Grenzwald
10.3.6 Breyell und Lobberich
10.3.7 Lüttelbracht
10.3.8 Gatzweiler
10.3.9 Dülken-Boisheim
10.3.10 Hastenrather Graben
10.3.11 Eicks-Mehlenbach
10.3.12 Meindorf
10.3.13 Kinderhaus
10.3.14 Hedem
10.3.15 Boker Heide
10.3.16 Kerspetalsperre
10.4 Übersicht Daten Nitratdienst Nordrhein-Westfalen
10.5 Fragebogen Akzeptanzanalyse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Maßnahmenwirkung aus Kooperationen zwischen Wasser- und Landwirtschaft in einem linksrheinischen Kooperationsgebiet 24
Abbildung 2: Bildschirmfoto der Wasserschutzbrot-Webseite mit Auflistung teilnehmender Landwirte 28
Abbildung 3: Vorläufig ausgewählte 28 Gebiete innerhalb der regionalen Verteilung der Großvieheinheiten in NRW 36
Abbildung 4: Landesweite Übersichtskarte zur flächenhaften Kulisse der 20 bearbeiteten Trinkwasserschutzgebiete von 17 Wasserversorgungsunternehmen in 18 Kooperationen 38
Abbildung 5: Regionale Verteilung der Kooperations- bzw. Trinkwasserschutzgebiete in NRW 40
Abbildung 6: Anteile verschiedener Landnutzungstypen in den Kooperationsgebieten 42
Abbildung 7: Übersichtskarte zur Lage der Vorfeldmessstellen und zur Grundwasserabsenkung im WSG Helenenbusch 43
Abbildung 8: Einzugsgebiete der sieben Betriebsbrunnen und Lage der Grundwassermessstellen im WSG Mussum 45
Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Rohwasser von drei Wassergewinnungsanlagen der BEW 45
Abbildung 10: Übersicht zum Grundwassermessnetz im Gebiet Flüren-Diersfordt 46
Abbildung 11: Anteile der Fördermengen der Brunnen im WSG Kaldenkirchen-Grenzwald 49
Abbildung 12: Geologisches Schichtenverzeichnis und Ausbauplan einer Vorfeldmessstelle im WSG Lüttelbracht mit Zuordnung zum Grundwasserstockwerk (Cremer 2015) 50

Abbildung 13: Infiltrationswasseranteile 2010 (AG Wasserversorgung, 2011) 52
Abbildung 14: Geologischer Profilschnitt B-B‘ im WSG Hastenrather Graben 54
Abbildung 15: Hydrogeologische Übersichtskarte zum WSG Hastenrather Graben 55
Abbildung 16: Mehlenbachquellen und Blick in das Einzugsgebiet der Quellen 56
Abbildung 17: Nitratkonzentrationen in den drei Horizontalfilterbrunnen des Werkes Sankt Augustin-Meindorf 59
Abbildung 18: Geologische Schichtenverzeichnisse von zwei Vorfeldmessstellen im WSG Kinderhaus 61
Abbildung 19: Unmaßstäblicher schematischer Profilschnitt zur Erläuterung des Schichtaufbaus im Einzugsgebiet des Wasserwerks Hedem 62
Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der Nettofördermengen des Wasserwerkes Boker Heide der Gemeinschaftswasserwerke Boker-Heide GmbH 64
Abbildung 21: Übersicht zum Kooperationsgebiet Stever (Ausschnitt), zum WSG Halterner Stausee) sowie zum Funne-Teileinzugsgebiet im Südosten 65
Abbildung 22: Kumulierte Herbizidfrachten verschiedener Wirkstoffe am Pegel Stever-Hullern im mehrjährigen Vergleich 66
Abbildung 23: Aktivkohleverbrauch des Wasserwerks Haltern 66
Abbildung 24: Übersichtskarte zu den Probenahmestellen entlang der Gewässer im Kooperations- und WSG der Kerspetalsperre (..... 68
Abbildung 25: Jahresmittelwerte 2017 an ausgewählten Stationen (links) und zeitliche Entwicklung von Nitrat an der KB05 im Kerspebach vor Eintritt in die Talsperre 68
Abbildung 26: Modellierter Stickstoffbilanzüberschuss für das Jahr 2015/16 auf Gemeindeebene in NRW 72
Abbildung 27: Übersicht zur Anzahl der von den Wasserversorgern übermittelten Grundwassermessstellen mit hydrochemischen Daten pro Wasserschutzgebiet 73
Abbildung 28: Übersicht zur Kulisse mit auswertbaren Messstellen pro Wasserschutzgebiet 73
Abbildung 29: Anteil nach der Messstellenart in den 18 Wasserschutzgebieten 74
Abbildung 30: Übersicht zur Länge des Filters der in oberen Porengrundwasserleitern ausgebauten Grundwassermessstellen 75
Abbildung 31: Übersicht zur Lage der Filteroberkante unterhalb der Grundwasseroberfläche der in einem oberen Porengrundwasserleiter ausgebauten Grundwassermessstellen 75
Abbildung 32: Übersicht zu den Referenzmessstellen pro Wasserschutzgebiet 76
Abbildung 33: Grundwasserganglinien im WSG Mussum 77
Abbildung 34: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von Sulfat im Grundwasser in einem Wasserschutzgebiet 78
Abbildung 35: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte für Schläge mit Winterweizen und Wintergerste als Hauptfrucht des Probenahmejahres und nachfolgender Sommerung, mit Zwf. (KMV) und brachliegend – WSG Weiler (2005 – 2016). 82
Abbildung 36: Unterschied der Mediane der Grundmengen Getreideflächen mit Zwischenfruchtanbau (KMV) / ohne Zwischenfruchtanbau pro Jahr – WSG Weiler (2005-16) . 83
Abbildung 37: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte für Flächen mit Wintergerste und Winterweizen, mit und ohne Zwischenfrüchte (Mulchsaatverfahren) – WSG Weiler 84
Abbildung 38: Mittlere flächengewichtete Herbst-N_{min}-Werte aus den Jahren 2008 bis 2015 mit und ohne Maßnahmen aus Niedersachsen, sowie die sich daraus ergebenden Maßnahmeneffekte 86
Abbildung 39: Grundwasserneubildung (mGROWA) im WSG Helenenbusch 89
Abbildung 40: Klassen der Sickerwasserverweilzeiten aller Grundwassermessstellen 90
Abbildung 41: Klassen der Sickerwasserverweilzeiten aller Grundwassermessstellen nach Wasserschutzgebieten 90

Abbildung 42: Prinzipskizze zur Verdeutlichung des Grundwasserfließens (links) und der Ermittlung der aus Messungen zur Grundwasseroberfläche abgeleiteten Fließrichtung mittels hydrologischen Dreieckes (rechts) 91
Abbildung 43: Schematische Darstellung der Grundwasserströmung als Bahnlinie vom Eintragsort bis zur Entnahme an der Grundwassermessstelle inklusive beispielhafter Ausweisung des Zustromgebiets für einen Zeitraum von neun Jahren 92
Abbildung 44: Darstellung der Ausweisung von Zustromgebieten im WSG Mussum der BEW mit einer Heberbrunnengalerie 93
Abbildung 45: Beispiel für die Ausweisung von Zustromgebieten im WSG Meindorf mit Richtungen der hydraulischen Gradienten aus verschiedenen Jahren (blau) 93
Abbildung 46: Geohydraulisch vorgenommene Unterteilung von zwei Zustromgebieten in jährliche Segmente 94
Abbildung 47: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Konzentrationen in den Zustromgebieten der GWM 37 und 38 im WSG Hartefeld 95
Abbildung 48: Vereinfachte Vorgehensweise zur Ermittlung der Signifikanz des Trends sowie dessen Magnitude (Steigung) 97
Abbildung 49: Beispiele für Trendanalysen mit signifikant fallendem Trend (a) und nicht-signifikantem Trend (b) 97
Abbildung 50: Vereinfachtes Schema zur Berechnung der Herbizidfracht 100
Abbildung 51: : Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – Prämiengebiet WSG Emmerich-Helenenbusch (Zeitraum 2010 - 2017) 104
Abbildung 52: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für das Extensivierungsgebiet im WSG Emmerich-Helenenbusch 107
Abbildung 53: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres – Prämiengebiet WSG Emmerich-Helenenbusch 107
Abbildung 54: Schätzung der Maßnahmenwirkung „Prämienförderung“ im Prämiengebiet WSG Emmerich-Helenenbusch 109
Abbildung 55: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf 44 beprobten Standorten – Prämiengebiet Mussum 110
Abbildung 56: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für WSG Mussum 112
Abbildung 57: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Mussum 113
Abbildung 58: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienmodell“ im Prämiengebiet WSG Mussum 114
Abbildung 59: Prozentuale Verteilung der Fruchtarten auf beprobten Standorten – Prämiengebiet Flüren-Diersfordt 115
Abbildung 60: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für WSG Flüren-Diersfordt 118
Abbildung 61: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Flüren-Diersfordt 118
Abbildung 62: Herbst-N_{min}-Werte für W-Weizen und Wintergerste im Prämiengebiet WSG Flüren-Diersfordt bei nachfolgender Sommerung bzw. Winterung 119
Abbildung 63: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienmodell“ im Prämiengebiet WSG Flüren-Diersfordt 120
Abbildung 64: Verteilung der Fruchtarten auf den beprobten Standorten (Zeitraum 2008 - 2017) 122
Abbildung 65: Entwicklung der Herbst-N_{min}-Werte für das Gesamtgebiet des WSGs Hartefeld von 2008 bis 2017 [kg N/ha] 124
Abbildung 66: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Hartefeld 125
Abbildung 67: Entwicklung der Herbst-N_{min}-Werte im Beratungs- und Prämiengebiet - WSG Hartefeld (flächengewichteter Mittelwert, alle Kulturen) 125

Abbildung 68: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres im Prämien- und Beratungsgebiet - WSG Hartefeld 126
Abbildung 69: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Kartoffeln als Hauptfrucht des Probenahmejahres bei unterschiedlichen nachfolgenden Kulturen - Prämien- und Beratungsgebiet 127
Abbildung 70: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres mit Folgefrucht Wintergetreide - Prämien- vs. Beratungsgebiet 128
Abbildung 71: Schätzung der Maßnahmenwirkung des Prämien- und des Beratungsgebiets in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres (Mediane) 128
Abbildung 72: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – Kooperation Nettetal (Zeitraum 2014 - 2017) 131
Abbildung 73: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Kooperation Nettetal 133
Abbildung 74: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - Kooperation Nettetal 134
Abbildung 75: Vergleich der Häufigkeitsverteilung von Herbst-N_{min}-Werten für Grünland – WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp und Kooperation Nettetal 135
Abbildung 76: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienförderung“ in der Kooperation Nettetal (Vergleich Mediane ausgewählter Kulturen - Zeitraum 2014 - 2017) 136
Abbildung 77: Häufigkeitsverteilung der Herbst-N_{min}-Werte nach Wintergerste und Kartoffeln in der Kooperation Nettetal 136
Abbildung 78: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – WSG Lüttelbracht (Zeitraum 2014 - 2017) 138
Abbildung 79: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für WSG Lüttelbracht (flächengewichteter Mittelwert, alle Kulturen) 140
Abbildung 80: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Lüttelbracht (ausgewählter Kulturen - Zeitraum 2014 - 2017) 141
Abbildung 81: Schätzung des Maßnahmeneffekts im WSG Lüttelbracht (Mediane ausgewählter Kulturen - Zeitraum 2014 - 2017) 142
Abbildung 82: Häufigkeitsverteilung Herbst-Nmin nach Winterweizen und Wintergerste - WSG Lüttelbracht 143
Abbildung 83: Häufigkeitsverteilung Herbst-Nmin nach Winterweizen und Wintergerste - WSG Dülken-Boisheim 143
Abbildung 84: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – Prämiengebiet WSG Gatzweiler (Zeitraum 2008 - 2017) 145
Abbildung 85: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Kooperation Gatzweiler 148
Abbildung 86: Flächengewichtete Durchschnittswerte für Herbst-Nmin bei ausgewählten Kulturen – Prämiengebiet WSG Gatzweiler (Zeitraum 2008 - 2017) 148
Abbildung 87: Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - Kooperation Gatzweiler (ausgewählte Kulturen - Zeitraum 2014 – 2017 149
Abbildung 88: Vergleich von Herbst-N_{min}-Werten für Flächen mit Kartoffeln und Wintergetreide als Hauptfrucht des Jahres mit anschließender Sommerung bzw. Winterung 149
Abbildung 89: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienförderung“ in der Kooperation Gatzweiler 151
Abbildung 90: Prozentuale Verteilung der Fruchtarten auf den beprobten Standorten 153
Abbildung 91: Entwicklung Herbst-Nmin WSG Dülken-Boisheim 1994-2017 155
Abbildung 92: Jährliche Durchschnittswerte nach Kultur 156
Abbildung 93: Relative Entwicklung dreijähriger Mittelwe- nach Kultur 156
Abbildung 94: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Dülken-Boisheim 157
Abbildung 95: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Wintergerste bzw. Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres nach nachfolgenden Kulturen 158

Abbildung 96: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Kartoffeln bzw. Mais als Hauptfrucht des Probenahmejahres bei untersch. nachfolgenden Kulturen – WSG Dülken-Boisheim (2014-2016) 158
Abbildung 97: Schätzung der Maßnahmenwirkung des Prämien- und des Beratungsgebiets in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres (Mediane) 159
Abbildung 98: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – WSG Weiler (Zeitraum 2005 - 2016) 161
Abbildung 99: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Datensatz WSG Weiler 162
Abbildung 100: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert je Hauptfrucht des Probenahmejahres – Datensatz WSG Weiler 162
Abbildung 101: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres pro nachfolgender Kultur – WSG Weiler 163
Abbildung 102: : Folgefrucht nach Winterweizenflächen im WSG Weiler (links, 2005-2016) und Hartefeld (rechts, 2008-2017). 164
Abbildung 103: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte für Schläge mit Winterweizen und Wintergerste als Hauptfrucht des Probenahmejahres und nachfolgender Sommerung, mit Zwf. (KMV) und brachliegend – WSG Weiler (2005 – 2016). 165
Abbildung 104: Unterschied zwischen Medianen der Grundmengen Getreideflächen mit Zwischenfruchtanbau (KMV) / ohne Zwischenfruchtanbau pro Jahr – WSG Weiler (2005-16) 166
Abbildung 105: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit und ohne Zwischenfrüchte für eine kurze („60-Tage“) Zwischenfrucht 166
Abbildung 106: Schätzung der Wirkung für die Kooperationsarbeit insgesamt - WSG Weiler 167
Abbildung 107: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – WSG Zündorf 169
Abbildung 108: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Datensatz WSG Zündorf 170
Abbildung 109: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres – Datensatz WSG Zündorf 171
Abbildung 110: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres bei unterschiedlichen nachfolgenden Kulturen – WSG Zündorf 171
Abbildung 111: Folgefrucht nach Winterweizenflächen im WSG Zündorf (links, 2005-2016) und Hartefeld (rechts, 2008-2017). 172
Abbildung 112: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit und ohne Zwischenfrüchte für Flächen mit Wintergetreide als Hauptfrucht des Probenahmejahres 173
Abbildung 113: Schätzung der Maßnahmenwirkung „Kooperationsarbeit“ im WSG Zündorf 174
Abbildung 114: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Boker Heide 177
Abbildung 115: Zonierung der Deckschichten im Grundwasserleiter des Kooperationsgebietes Emmerich-Helenenbusch 180
Abbildung 116: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser der Zustromgebiete in Emmerich-Helenenbusch für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 (dunkelblau); 180
Abbildung 117: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Emmerich-Helenenbusch 181
Abbildung 118: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Emmerich-Helenenbusch 182
Abbildung 119: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Emmerich-Helenenbusch 182
Abbildung 120: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Emmerich-Helenenbusch 182
Abbildung 121: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte für das Gebiet mit Prämienmodell (a) als Ganglinien und (b) als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von drei Jahren 183

Abbildung 122: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von drei Jahren 184
Abbildung 123: Konzentrationsentwicklung ausgewählter PSM-Wirkstoffe im WSG Mussum 186
Abbildung 124: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Mussum für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 (dunkelblau); 187
Abbildung 125: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Mussum . 187
Abbildung 126: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Mussum 188
Abbildung 127: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 190
Abbildung 128: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp 191
Abbildung 129: Statistischer Überblick zu Steigungen der Nitratentwicklung im WSG Flüren-Diersfordt -Blumenkamp 191
Abbildung 130: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Flüren-Diersfordt-Blumenkamp 192
Abbildung 131: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Nitratkonzentrationsklasse (links) und Maßnahme (rechts) in Flüren-Diersfordt-Blumenkamp 192
Abbildung 132: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte für das Gebiet mit Prämienmodell (a) und als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von zwei Jahren (b) 193
Abbildung 133: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von zwei Jahren 193
Abbildung 134: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Hartefeld für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 195
Abbildung 135: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Hartefeld 196
Abbildung 136: Nitratentwicklung im Sickerwasser in Hartefeld auf den Testschlägen 1.1, 1.2 und 1.3 197
Abbildung 137: Nitratentwicklung im Grundwasseranstrom (G32) und –abstrom (G33) des Pilotstandorts in Hartefeld 198
Abbildung 138: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Hartefeld 199
Abbildung 139: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Hartefeld 199
Abbildung 140: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Nitratkonzentrationsklasse (links) und Maßnahme (rechts) in Hartefeld 200
Abbildung 141: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) und Beratungsgebiet (b) sowie als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von einem Jahr (c) 201
Abbildung 142: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) und Beratungsgebiet (b) in beiden Fällen mit zeitlichem Versatz von einem Jahr 201
Abbildung 143: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Kaldenkirchen-Grenzwald für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und für 2014 – 2016 (dunkelblau) 203
Abbildung 144: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Kaldenkirchen-Grenzwald (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz) 205
Abbildung 145: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Kaldenkirchen-Grenzwald 205
Abbildung 146: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Kaldenkirchen-Grenzwald 206
Abbildung 147: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Breyell-Lobberich für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 208
Abbildung 148: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Breyell-Lobberich 209
Abbildung 149: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Breyell-Lobberich 209

Abbildung 150: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Breyell-Lobberich 210
Abbildung 151: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Lüttelbracht für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 212
Abbildung 152: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Lüttelbracht 214
Abbildung 153: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Lüttelbracht 214
Abbildung 154: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Lüttelbracht 215
Abbildung 155: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Gatzweiler für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 (dunkelblau) ; 217
Abbildung 156: Anteil an Infiltrationswasser im Brunnen 1 218
Abbildung 157: Gegenüberstellung der Nitratverringerung und des Einflusses des Infiltrationswassers im WSG Gatzweiler 218
Abbildung 158: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Gatzweiler 219
Abbildung 159: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Gatzweiler 219
Abbildung 160: Steigung der Nitrattrends gegenüber Nitratkonzentrationsklasse im WSG Gatzweiler 220
Abbildung 161: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Maßnahme im WSG Gatzweiler 220
Abbildung 162: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) sowie als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von drei Jahren (b) 222
Abbildung 163: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von drei Jahren 222
Abbildung 164: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser der GWM im WSG Dülken-Boisheim für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) sowie 2014 – 2016 ... 224
Abbildung 165: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Dülken-Boisheim (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz) 225
Abbildung 166: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Dülken-Boisheim 225
Abbildung 167: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Nitratkonzentrationsklasse (links) und Maßnahme (rechts) im WSG Dülken-Boisheim 226
Abbildung 168: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) sowie als Scatterplot (b) mit zeitlichem Versatz von acht Jahren 226
Abbildung 169: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von acht Jahren 227
Abbildung 170: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Hastenrather Graben für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 229
Abbildung 171: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Hastenrather Graben 230
Abbildung 172: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Hastenrather Graben 230
Abbildung 173: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Eicks-Mehlenbach für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 232
Abbildung 174: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Eicks-Mehlenbach (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz) 233
Abbildung 175: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Eicks-Mehlenbach 234
Abbildung 176: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) im WSG Eicks-Mehlenbach 234

Abbildung 177: Lage von 13 landwirtschaftlich beeinflussten Vorfeldmessstellen der RheinEnergie AG im WSG Weiler 236
Abbildung 178: Zeitliche Entwicklung der mittleren Nitratgehalte an 13 landwirtschaftlich beeinflussten Vorfeldmessstellen der RheinEnergie AG im WSG Weiler 237
Abbildung 179: Lage von 13 landwirtschaftlich beeinflussten Vorfeldmessstellen der RheinEnergie AG im WSG Zündorf 238
Abbildung 180: Geohydraulische Durchlässigkeit des wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiters im WSG Zündorf 239
Abbildung 181: Zeitliche Entwicklung der mittleren Nitratgehalte an landwirtschaftlich beeinflussten 13 Vorfeldmessstellen der Rheinenergie AG im WSG Zündorf 239
Abbildung 182: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Meindorf / Untere Sieg für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 241
Abbildung 183: Nitratkonzentrationen in der Sieg (Daten: ELWAS-WEB, MLNUV) 241
Abbildung 184: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Meindorf / Untere Sieg 242
Abbildung 185: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Meindorf / Untere Sieg 242
Abbildung 186: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) im WSG Meindorf / Untere Sieg 243
Abbildung 187: Ganglinien zum Wirkstoff Bromacil in betroffenen Messstellen („LG“, „VP“) sowie Förderbrunnen („FB“) 245
Abbildung 188: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Kinderhaus für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 246
Abbildung 189: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Kinderhaus 246
Abbildung 190: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Kinderhaus (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz) 247
Abbildung 191: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Kinderhaus 247
Abbildung 192: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) im WSG Kinderhaus 248
Abbildung 193: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Hedem für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 250
Abbildung 194: Ganglinien der hydrochemischen Leitparameter für das Beispiel des Brunnens HE7BR 250
Abbildung 195: Ganglinien der Sauerstoffkonzentration in ausgewählten Brunnen im WSG Hedem 251
Abbildung 196: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Boker Heide für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 253
Abbildung 197: Ganglinien für Nitrat und Sulfat in der Lippe (..... 253
Abbildung 198: Ganglinien hydrochemischer Leitparameter im Brunnen HFB I 254
Abbildung 199: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Boker Heide 255
Abbildung 200: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Boker Heide 255
Abbildung 201: Pegelstation des LANUV (links) sowie Maisanbau im Funne-Einzugsgebiet (rechts) 257
Abbildung 202: Nicosulfuron-Konzentrationen in oberirdischen Gewässern des Einzugsgebietes Talsperre Haltern 258
Abbildung 203: Nicosulfuron in Wasserproben des „MP Funne“ (Daten: Gelsenwasser) 259
Abbildung 204: Zeitpunkt des Herbizideinsatzes (Quelle: LfL Bayern) 260

Abbildung 205: Gegenüberstellung Niederschlagsmengen (Station Lüdinghausen-Brochtrup) und Abflüsse der Funne von 2011 bis 2018 (Daten: DWD und Gelsenwasser) 260
Abbildung 206: Oberflächenabfluss nach Starkregen am 20.6.2013 in Südkirchen (LWK 2013) 261
Abbildung 207: Darstellung der monatlichen Mittelwerte der in der Funne gemessenen Herbizid-Konzentrationen im Vergleich mit Niederschlags- und Abflussmengen in der Funne 262
Abbildung 208: Nicosulfuron-Konzentrationen 2012 bis 2016 im Mischpegel Funne 262
Abbildung 209: Foramsulfuron-Konzentrationen 2012 bis 2016 im Mischpegel Funne 262
Abbildung 210: Tägliche Niederschläge (RADOLAN RW) und berechnete / gemessene Frachten 2012 beim Einsatz von 40 g/ha Nicosulfuron 263
Abbildung 211: Tägliche Niederschläge (RADOLAN RW) und berechnete / gemessene Frachten 2016 bei Aufbringung von 40 g/ha Nicosulfuron auf 64% der Maisflächen 264
Abbildung 212: Tägliche Niederschläge (RADOLAN RW) und berechnete / gemessene Frachten 2016 bei Aufbringung von 30 g/ha Foramsulfuron auf 36% der Maisflächen 265
Abbildung 213: Zeitliche Entwicklung der Nitratwerte in den Pegeln der Zuflüsse zur Kerspetalsperre 267
Abbildung 214: Stündliche Abflüsse in den Zuflüssen zur Kerspetalsperre von 2006 bis 2016 268
Abbildung 215: Nitratfrachten in den Teileinzugsgebieten KB01, KB03, KB04 und KB09 der Kerspetalsperre 269
Abbildung 216: Monatliche Nitratfrachten in ausgewählten Teileinzugsgebieten der Kerspetalsperre für Januar - Juni (links) und Juli - Dezember (rechts) gegen den Flächenanteil T200 270
Abbildung 217: Flächenanteile der Teileinzugsgebiete KB01, KB03, KB04 und KB09 der Kerspetalsperre, die von Erweiterungen der Lagerkapazität für Gülle betroffen 271
Abbildung 218: Angaben zur Größe des landwirtschaftlichen Betriebs 274
Abbildung 219: Zusammenfassung GVE / ha 274
Abbildung 220: Vergleich der Verteilung der befragten Landwirte in den RAGs (Frage 4, Anzahl Antworten: 158) mit der Verteilung der untersuchten WSG in den RAG 275
Abbildung 221: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 5 275
Abbildung 222: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 6 276
Abbildung 223: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 6c 276
Abbildung 224: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 7 277
Abbildung 225: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 8 278
Abbildung 226: Prozentuale Verteilung Antworten für Fragen 9, 10 und 12 279
Abbildung 227: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 11 279
Abbildung 228: Prozentuale Verteilung Antworten für Fragen 14, 16 und 17 280
Abbildung 229: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 15 281
Abbildung 230: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 18 281
Abbildung 231: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 19 282
Abbildung 232: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 21 283
Abbildung 233: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 22 284
Abbildung 234: Unterschied zwischen Medianen der Grundmengen Getreideflächen mit Zwischenfruchtanbau (KMV) / ohne Zwischenfruchtanbau – WSG Weiler (2005-16) 287
Abbildung 235: Berechnete Differenzen der jährlichen Grundwasserneubildungen aus dem Modell mGROWA des FZ Jülich von 1981-2010 (Herrmann et al. 2019) abzüglich der Werte aus dem Zeitraum 1971-2000 292
Abbildung 236: Modellierter N-Minderungsbedarf in den „roten GWK“ aus mGROWA-DENUZ-WEKU 293
Abbildung 237: Übersicht zur Bewertung der Nitratentwicklung in Prämien-, Maßnahmen- bzw. Beratungsgebieten und in Rohwässern 294

Abbildung 238: Vereinfachte Darstellung der Auswirkung einer verringerten Grundwasserneubildung auf die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für Böden mit nutzbaren Feldkapazitäten <200 mm (Austauschhäufigkeit des Bodenwassers 100%) 302
Abbildung 239: Beratungskulisse Grundwasser nach Bewirtschaftungsplan 2016 bis 2021 mit priorisierten Intensivberatungsgebieten 308
Abbildung 240: Flächenanteile von Kooperationsgebieten in Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand wegen Nitrat 309

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Detaillierte Angaben zu den verwendeten Auswahlkriterien der Gebiete 33
Tabelle 2: Kenndaten zu den ausgewählten Kooperationsgebieten (*: bereits in IWW 2006) 39
Tabelle 3: Übersicht zu den bei den WVU angefragten Datenbeständen zu benötigten wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Informationen 41
Tabelle 4: Überblick der erhaltenen Dokumentation zur Kooperationsarbeit 69
Tabelle 5: Überblick der erhaltenen Herbst-N_{min}-Datensätze für die untersuchten WSG 70
Tabelle 6: Anzahl Datensätze für Nitrat in Kooperationsgebieten mit Grundwassergewinnung 77
Tabelle 7: Kontrastwerte (kulturspezifische Mediane für Flächen ohne Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen) für die Abschätzung der Maßnahmenwirkungen 85
Tabelle 8: Gesamtschutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Festgesteine und Zuweisung der Sickerwasserverweildauer 88
Tabelle 9: Zusammenfassung der Fragen, Fragetypen, mögliche Antworten (bei Skalenfragen, Einfachwahlfragen, Mehrfachwahlfragen) und Anzahl der Antworten für die Online-Befragung „Akzeptanz des kooperativen Trinkwasserschutzes in NRW“ 102
Tabelle 10: Kulturübergänge mit Vorfrucht Weizen im WSG Weiler (ohne unbekannt) 164
Tabelle 11: Kulturübergänge mit Vorfrucht Weizen im WSG Zündorf 172
Tabelle 12: Übersicht der Zuordnungen von Zustromgebieten der Grundwassermessstellen in Meindorf zu Landnutzungen und sonstigen Einflussfaktoren 240
Tabelle 13: Übersicht zu Maisflächen im gesamten Funnegebiet sowie dem Anteil der Flächen, bei denen alternative Herbizide aufgebracht werden (Stever Kooperationsbericht 2017) 264
Tabelle 14: Aggregierte Minderungswirkung von Prämienförderung in ausgewählten WSG 289
Tabelle 15: Zusammenfassende Entwicklungen der N_{min}-Gehalte im Boden und der Nitratkonzentrationen im Grundwasser auf Maßnahmenebene der Kooperationen 295

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen (nur häufig im Text verwendete Abkürzungen, weitere werden jeweils beim ersten Auftreten erläutert)

AH	Austauschhäufigkeit
AUM	Agrarumweltmaßnahmen
BG	Bestimmungsgrenze
BWP	Bewirtschaftungsplan
DLM	digitales Landschaftsmodell
DüV	Düngeverordnung
(EU-)-WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert
GrwV	Grundwasserverordnung
GV / GVE	Großvieheinheiten
GWL	Grundwasserleiter
GWK	Grundwasserkörper
GWM	Grundwassermessstelle
ha	Hektar
HCO_3	Hydrogencarbonat
k_f	Geohydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert
KzgL	Kooperationsmaßnahmen zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LWK	Landwirtschaftskammer
MULNV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW
MW	Mittelwert
nFk	nutzbare Feldkapazität
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
N_{min}	mineralisierter Stickstoff
NO_3	Nitrat
PSM	Pflanzenschutzmittel (Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel)
RAG	Regionale Arbeitsgemeinschaft
RMW	Rohmischwasser
SO_4	Sulfat
SVZ	Schichtenverzeichnis
SW	Stadtwerke
T200	Gründlandtemperatursumme 200°C
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UG	Untersuchungsgebiet
WasEG	Wasserentnahmeentgeltgesetz
WGA	Wassergewinnungsanlage
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WSG	Wasserschutzgebiet
WSZ	Wasserschutzzone
WVU	Wasserversorgungsunternehmen
ZHK-UQN	zulässige Höchstkonzentration der Umweltqualitätsnorm

1 Kurzfassung

In fachlicher Fortführung der auf dem 12-Punkte-Programm von 1989 basierenden Evaluierung der Kooperationstätigkeiten zum Gewässerschutz in Wasserschutzgebieten vor 14 Jahren (IWW 2006) wurden die Auswirkungen der Gewässerschutzmaßnahmen bewertet. Die Kulisse bestand aus 18 Kooperationen mit 20 Wasserschutzgebieten, in denen die Trinkwasserförderung durch landwirtschaftliche Maßnahmen zum Gewässerschutz flankiert wird. In zwei Gebieten wird das Trinkwasser aus Talsperren, in allen übrigen aus dem Grundwasser gewonnen.

Je nach Art der Rohwassergewinnung und der in der Kooperation erhobenen Daten wurden die Maßnahmen im Boden (mit Herbst-N_{min}-Werten), im oberflächennahen Grundwasser (mit hydrochemischen Daten von Vorfeldmessstellen), im Rohwasser (mit den Daten der Produktionsbrunnen aus zumeist tieferen Grundwasservorkommen) und in oberirdischen Gewässern bewertet. Die Untersuchungen konnten nur in enger Zusammenarbeit mit den Beteiligten der Trinkwasserschutzkooperationen durchgeführt werden, d. h. mit den Wasserversorgungsunternehmen sowie den in den Gebieten tätigen Landwirten, die ihre betriebsbezogenen Daten unter Zusicherung der Einhaltung des Datenschutzes freiwillig und vertraulich über die Landwirtschaftskammer NRW zur Verfügung stellten.

Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen zeigen sich im Grundwasser mit einer Zeitverzögerung, die je nach Standortbedingung des Untergrundes fast immer mehrere Jahre, z. T. auch Jahrzehnte bis Jahrhunderte betragen kann. Das liegt an den Gesamtverweilzeiten des Sicker- und Grundwassers vom Verlassen der durchwurzelten Bodenzone bis hin zum Entnahmeort der Grundwasserprobe. Zusammenhänge zwischen Nitrateinträgen und Konzentrationen im Grundwasser konnten durch systematische Auswertungen aller Daten inkl. von N_{min}-Werten im Herbst stets gebietsspezifisch aufgeklärt werden. Dennoch treten zwischen den untersuchten Gebieten sehr große Unterschiede hinsichtlich der Kooperationserfolge auf. Dies hat seine Ursache nicht nur in natürlichen Faktoren des Untergrundaufbaus, sondern auch in sog. „Störfaktoren“ der Kooperationstätigkeiten, die zumeist anthropogen induziert sind. Genannt seien hier exemplarisch die regional differierenden Stickstoff-Bilanzüberschüsse oder Anbaukonzentrationen problematischer Kulturen (Gemüse, Kartoffel, Mais) in bestimmten Regionen in NRW. Das Fortbestehen der Trinkwassergewinnung aus oberflächennahen Grundwasservorkommen kann bezüglich der sog. „Störfaktoren“ spezialisierter landwirtschaftlicher Produktion zukünftig zu unüberwindbaren Barrieren führen.

Die innerhalb der Kooperationen unterschiedlich durchgeführten Maßnahmen (i. W. ausschließliche Beratung, Maßnahmenförderungen und Prämienmodelle) führen zu durchaus abweichenden Ergebnissen. Prämienmodelle, die i. d. R. eine Beratung einschließen, zeigen gute Erfolge im Hinblick auf eine nachhaltige Senkung der Nitratkonzentrationen im Grund- und Rohwasser, sind jedoch deutlich kostenintensiver. Ausschließliche Beratung und Beratung mit Maßnahmenförderungen führten in den untersuchten WSG zu geringeren Nitratabnahmen bzw. nur zu einer Stagnation der Konzentrationen, verhindern jedoch damit einen Nitratanstieg bei zumeist in der Vergangenheit stattgefundener Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion. Gemein ist allen Modellen in den untersuchten Gebieten, dass das absolute Niveau der Nitratwerte oftmals den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l in den Vorfeldmessstellen nicht einhält, oftmals sogar deutlich darüber liegt. Im Rohwasser der Brunnen hingegen wird der Wert - aufgrund des natürlichen, mikrobiell induzierten Nitratabbaus in den tieferen Horizonten - aktuell fast immer eingehalten bzw. deutlich unterschritten. Da dieser Prozess jedoch einen zeitbezogen endlichen Charakter hat (DWA 2015), sollte auch in den Vorfeldmessstellen das Zielniveau des Grenzwertes von 50 mg/l perspektivisch erreicht werden. Dann ist die standortbezogene, lokale Trinkwassergewinnung langfristig und nachhaltig weiterhin möglich.

Als weitere wichtige Bausteine des Verständnisses der Kooperationsaktivitäten konnten durch eine direkte Befragung der Landwirte im Rahmen einer Akzeptanzanalyse weitere Schlüsselfaktoren erfolgreicher Zusammenarbeit von Landwirten und Wasserwirtschaftlern identifiziert werden. Hier zeigte sich, dass vor allem die langjährig vertrauensvolle Kooperationstätigkeit eine bedeutende Stellung bei der Bereitschaft der Handelnden einnimmt, sich aktiv in den Gewässerschutz einzubringen.

Erheblich verbessert werden sollte zukünftig das wasserwirtschaftliche Monitoring durchgeführter Kooperationsmaßnahmen. Oft standen Daten von nur sehr wenigen Grundwassermessstellen zur Verfügung. Bei oberirdischen Gewässern können hierfür Pegel, an denen automatisierte Mischproben gewonnen werden, sehr hilfreich sein, wie sie z. T. bereits vorhanden sind (Stever-Kooperation).

2 Einleitung

2.1 Veranlassung

Der kooperative Gewässerschutz in den Einzugsgebieten der Trinkwasserversorgung bildet in Deutschland eine tragende Säule der Maßnahmenpakete zum vorsorgenden Gewässerschutz und insbesondere zum Grundwasserschutz. Aktuell besteht durch seit einigen Jahren wieder steigende Nitratgehalte im Grundwasser Deutschlands (Wolter 2014) Veranlassung und Notwendigkeit, die verschiedenen Säulen des Gewässerschutzes einer kritischen Überprüfung zu unterziehen.

Die Gründe für den aktuellen Anstieg bzw. die Stagnation der Nitratgehalte im Grundwasser auf hohem Niveau nach davor (in den 2000er-Jahren) einem Zeitraum der Abnahme sind vielfältig. Sie liegen vermutlich (SRU 2015, Buttlar & Willms 2016) u.a. in dem vor etwa 15 Jahre einsetzendem Boom des Baus der Biogasanlagen im Zuge der Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)-Novellen mit den bekannten negativen Auswirkungen der landwirtschaftlichen Maßnahmen (Grünlandumbruch, vermehrter Maisanbau, höhere Düngungsaufwendungen etc.). Hierzu lassen sich keine überregional verallgemeinerten Aussagen treffen, das kann nur standörtlich bzw. einzugsgebietsbezogen in Auswertung vorhandener Daten abgeleitet und belegt werden.

Auch in NRW wird konstatiert (LANUV 2014), dass bei den landwirtschaftlich beeinflussten Grundwassermessstellen überwiegend zwar eine abnehmende Tendenz, aber noch kein statistisch signifikant fallender Trend festzustellen sei. Festgestellt wurde jedoch, dass das Belastungsniveau sowie auch die Häufigkeit der Qualitätsnormverletzungen bei den Messstellen mit primärer Beeinflussung durch landwirtschaftliche Nutzflächen im Zustromgebiet landesweit mit einem Anteil von aktuell etwa 22% signifikant höher sei als bei den übrigen Messstellen mit anderen Landnutzungseinflüssen (14%).

Hinsichtlich der historischen Entwicklung führt die Leistungsbeschreibung des MULNV NRW vom 21.12.2016 (s. Anhang 10.1) zu der hier dokumentierten Studie auf, dass mit der Trinkwasserverordnung vom 22. Mai 1986 neue Grenzwerte für Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückstände festgelegt worden waren. Um den daraus resultierenden Anforderungen an die Rohwassergüte Rechnung zu tragen, war damals insbesondere eine Reduzierung der nachteiligen Einflüsse von landwirtschaftlich bedingten Stoffeinträgen erforderlich. Hierzu wurde 1989 gemeinsam vom Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Raumordnung sowie der Landwirtschaftskammer im sog. „12-Punkte-Programm“ (NRW Landesregierung et al. 1989) der Grundstein für das Modell des kooperativen Gewässerschutzes gelegt. Mit Einführung des Pflanzenschutzmittel-Grenzwertes von 0,1 µg/l im Trinkwasser wurden später innerhalb der Kooperationen auch Maßnahmen zur Reduzierung der Grund- und Rohwasserbelastung durch Pflanzenbehandlungsmittel und -Metabolite (PSM) aufgenommen. Im Jahr 2004 war das Wasserentnahmeentgeltgesetz NRW in Kraft getreten. Seither können Aufwendungen für Gewässer-/Grundwasserschutzmaßnahmen auf Grundlage von Kooperationsvereinbarungen zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft gemäß 12-Punkte-Programm bei entsprechender Vorlage der Aufwendungen und Darstellung der getroffenen Maßnahmen mit dem Wasserentnahmeentgelt verrechnet werden.

Die Trinkwasserkooperationen leisten einen wichtigen Beitrag für das Erreichen der vorgegebenen Zielsetzungen in der im Jahr 2000 in Kraft getretenen EG-Wasserrahmenrichtlinie. Die Umsetzung der Maßnahmen in Wasserschutzgebieten (WSG) ist fester Bestandteil sowohl des zurückliegenden als auch des aktuellen Bewirtschaftungsplans. Auch wenn die Umsetzung der WRRL nicht unmittelbare Aufgabe der Kooperationen ist, gibt es gemeinsame Zielsetzungen sowie aufgrund der langjährig durchgeführten Maßnahmen in den Kooperationen auch viele Erfahrungen, auf die im Umsetzungsprozess der WRRL zurückgegriffen werden kann. Vor diesem Hintergrund sollen Informationen zu Maßnahmen und Maßnahmenwirkungen aus den Gewässerschutzkooperationen in NRW auch für den weiteren Umsetzungsprozess der EG-WRRL verfügbar gemacht werden.

Eine Evaluierung des kooperativen Gewässerschutzes wurde erstmals in den Jahren 2000 bis 2006 initiiert. Damals hatte das Ministerium im Rahmen einer Vorstudie und einer Hauptstudie „Entwicklung eines vereinheitlichten Verfahrens zur Erfassung und Bewertung der Auswirkungen von Vereinbarungen zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft in NRW“ (IWW 2000 und 2006, Fohrmann et al. 2007) die Trinkwasserschutzkooperationen im Hinblick auf ihren Erfolg untersuchen lassen. Dazu

wurden damals in 21 beteiligten Kooperationen umfangreiche Daten - bei den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen (WVU) zur Trinkwasserförderung (Brunnen, Volumen, Hydrogeologie, Analysedaten), bei den landwirtschaftlichen Kooperationsvertretern zur Bewirtschaftung, Nährstoffsituation und Maßnahmenumsetzung sowie bei Dritten zur Witterung, Topographie und Bodenverhältnissen - erhoben, validiert und bewertet. In diesem Zuge wurden die Einflüsse auf die Kooperationsarbeit (u. a. Nutzungsintensität, Standortfaktoren, Kooperationsintensität) ermittelt und vordefinierte Erfolgsparameter ausgewertet, um den Kooperationserfolg zu bewerten. Es wurde deutlich, dass die bisherigen Erfolge neben den naturräumlichen und standörtlichen Randbedingungen primär von der Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung, der Kooperationsbereitschaft der Landwirte, der fachlichen Arbeit der Kooperation und dem Engagement im Einzelfall abhängig sind.

Sowohl die regionalen Agrarstrukturen als auch die begrenzten Möglichkeiten des Ordnungsrechtes (Düngeverordnung) und seines Vollzuges (z. B. zur Kontrollintensität) wurden als ein zentrales Instrument identifiziert. In einigen Regionen konnte festgestellt werden, dass diese und weitere Randbedingungen (z. B. Grünlandumbrüche, Intensivierung Ackernutzung/ Maisanbau, Zunahme der Stickstoffüberschüsse) auch z. T. Verschlechterungen der Qualität (z. B. Nitrat, Ammonium aber auch PSM-Belastungen) des Grund- und Rohwassers bewirken.

Resümierend wurde deutlich, dass der Erfolg von Maßnahmen und ein weiteres Absenken der Nitratkonzentrationen dort an ihre Grenzen stoßen, wo Intensivierungsinteressen entgegenstehen, die Qualitätsanforderungen an die Produkte hohe Düngegaben bis zur Ernte erfordern oder wo gebietsweise hohe Nährstoffüberschüsse aufgrund der Viehhaltung einen Entsorgungsdruck auslösen. Insgesamt war in den Studien jedoch der gewählte Untersuchungszeitraum zu kurz und die in Nuancen abweichenden und nicht einheitlich definierten Maßnahmen, Maßnahmenkombinationen und Ansätze zu vielfältig, um hieraus einheitliche und langfristig wirksame Lösungsansätze zu entwickeln (IWW 2006).

Im Anschluss an IWW (2006) wurde eine Weiterentwicklung der möglichen landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserbeschaffenheit erarbeitet, stellvertretend seien die „Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung“ (DVGW & DWA 2019), oder der „Bericht zur Nitratbelastung der Trinkwasserressourcen in Deutschland“ (DVGW et al. 2019) genannt. Auch seitens der Fachbehörden (z. B. in Niedersachsen, NLWKN 2015a &b, 2016 & 2017) und der Landwirtschaftskammer (LWK NRW 2018a&b) gibt es hierzu umfangreiche Dokumentationen. Aktuell ergab sich die Notwendigkeit einer erneuten Evaluierung dann durch die geplante – und lange vorab diskutierte - Aktualisierung der Düngeverordnung (DüV), in welcher landwirtschaftsbezogene Maßnahmen zur Verbesserung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser festgeschrieben sind (DüV 2017) bzw. aktuell (März 2020) vorgeschlagen werden, die z. T. inhaltsgleich mit Maßnahmen in Kooperationsgebieten sind und deren Förderungen dort entbehrlich werden könnten.

2.2 Dialoggespräche

Im Juni 2016 startete das MULNV NRW daher einen neuen Versuch, die Auswirkungen der Kooperationstätigkeit mit dem aktuell verfügbaren Kenntnis- und Datenbestand einer erneuten fachlichen Evaluierung unterziehen zu lassen. Dazu wurde zunächst ein offenes Vergabeverfahren initiiert, welches im zeitlichen Vorlauf zur Vergabe der Leistungen auf Basis von Projektskizzen der Bieter zunächst in zwei sog. „Dialoggesprächen“ fachliche und organisatorische Details der Bearbeitung thematisierte. Zu den beiden Gesprächen am 07.09. und am 11.11.2016 wurden neben zwei Bieterkonsortien auch Vertreter zuständiger Verbände (Landwirtschaftskammer, BDEW, DVGW) und interessierter Wasserversorgungsunternehmen geladen, um frühzeitig deren Hinweise in die Bearbeitung bzw. zur Erarbeitung der finalen Leistungsbeschreibung (s. Anhang 10.1) aufnehmen zu können. Mit Datum vom 03.03.2017 erfolgte anschließend der Zuschlag des MULNV zur Durchführung der Studie auf Basis des Angebotes des Bieterkonsortiums Ecologic / HYDOR vom 26.01./20.02.2017.

2.3 Zielsetzung der Studie

Die Ziele dieser Studie betreffen zwei unterschiedliche politische Handlungsfelder. Einerseits beziehen sie sich auf das Modell des kooperativen Gewässerschutzes in NRW, andererseits auf eine Nutz-

barmachung der Erfahrungen, die in diesem Modell gesammelt wurden, für weitere Bereiche der Umweltpolitik, insbesondere für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Einige Ziele dienen gleichzeitig beiden Zwecken. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf einer Bewertung der Wirksamkeit der Gewässerschutz- bzw. Grundwasserschutzmaßnahmen, die in den untersuchten Kooperationen umgesetzt werden. Es sind diejenigen Maßnahmen zu identifizieren und zu beschreiben, die zu Kooperationserfolgen beitragen. Außerdem sollen ihre Wirkung ermittelt und identifiziert werden sowie ob es neben den in IWW (2006) genannten „Störfaktoren" weitere Ursachen für Kooperationsmisserfolge (Bsp. Steigende Nitrat-Trends) gibt und inwiefern diese maßgeblich sind.

Die Analyse der umgesetzten Maßnahmen soll die Grundlage für Handlungsempfehlungen bilden, die sowohl zielführende Gewässerschutzmaßnahmen als auch geeignete Effizienzkontrollmaßnahmen betreffen. Die Aussagen und (Handlungs-)Empfehlungen sollten sich auf die weitere Umsetzung in den verschiedenen Kooperationen in NRW beziehen, waren jedoch auch für weitere Maßnahmenprogramme und -strategien zu entwickeln, insbesondere für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und für eine verbesserte (zielgerichtetere) Ausgestaltung der Agrarförderungsprogramme.

Darüber hinaus soll die Studie perspektivisch einen Beitrag dazu leisten, den Informationsaustausch zwischen den Akteuren der Kooperationen und den Landesbehörden zu verbessern und die positiven Ansätze für eine gemeinsame Außendarstellung zu nutzen (gemeinsame Ziele, Memorandum). Die Studie soll zudem einer Entwicklung beitragen, in der alle landwirtschaftlichen Beratungen intensiviert und stärker an einer Verbesserung der Gewässerqualität ausgerichtet werden.

Das hier angewendete Konzept setzte dabei auf multiple Analyseansätze (s. Kapitel 6, Methodische Vorgehensweise). Dabei beabsichtigt unsere Analyse weder einen Vergleich der Kooperationen untereinander, noch eine Bewertung („gut" bzw. „schlecht") der Kooperationsarbeit in den einzelnen Gebieten. Vielmehr liegt die Aufgabe dieser Studie darin, verallgemeinerbare Aussagen zu den Erfolgen bzw. „Störfaktoren" der Kooperationsarbeit zu identifizieren und die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse für die weiteren Kooperationen in NRW bzw. für die Umsetzung der WRRL nutzbar zu machen.

2.4 Struktur des Projektes

In die Studie fließen drei Arten von Datenbeständen ein. Aufgrund der oben erläuterten Zielsetzung der Studie, weiterer Vorgaben aus der Leistungsbeschreibung, der Ergebnisse der Dialoggespräche und weiterer Entwicklungen im Verlauf des Projektes wurden für die jeweiligen Datenbestände unterschiedliche Bestimmungen getroffen. Die wasserwirtschaftlichen Daten wurden aus dem Zeitraum 1991 bis mindestens 2015 (bzw. von der jeweiligen Kooperationsgründung) erfasst. Der Betrachtungszeitraum von der „Vorgängerstudie" (IWW, 2006) sollte dabei inkludiert werden. Kapitel 5.1 stellt die entsprechende Datenrecherche vor, Kapitel 6.1, 6.3 und 6.4 die methodische Vorgehensweise und Kapitel 8.1 die Ergebnisse der wasserwirtschaftlichen Untersuchungen.

Für die landwirtschaftlichen Daten wurde in der 2. Dialogrunde (11.11.2016) seitens der teilnehmenden Wasserversorger darauf hingewiesen, *„dass trotz intensiver Arbeit in den Kooperationen Schwierigkeiten bei der Lieferung der zurückliegenden Daten auftreten können, da diese teilweise nicht für 25 Jahre rückwirkend bzw. seit dem jeweiligen Beginn der Kooperation vorhanden sind"* (MULNV, 2016). Am 4. September 2017 fand in den Räumlichkeiten der LWK NRW Kreisstelle Ruhr-Lippe in Unna ein Treffen statt, an dem fast alle landwirtschaftlichen Berater der Untersuchungsgebiete teilnahmen. Auf diesem vereinbarten LWK, Auftraggeber und Auftragnehmer, dass der zu untersuchende Zeitraum für landwirtschaftliche Daten auf 10 Jahre (2008 – 2017) eingegrenzt werde. Bei einigen Kooperationen waren auch Daten für diesen Zeitraum nur begrenzt zu erheben, z. B. aufgrund von Beraterwechsel während des Zeitraums. Kapitel 5.1 stellt die entsprechende Datenrecherche vor, Kapitel 6.1 die methodische Vorgehensweise und Kapitel 7.1 und 8.1 die Ergebnisse der Analysen.

Im Projektverlauf wurde ebenfalls ein Schwerpunkt auf sog. „weiche Erfolgsfaktoren" gesetzt. Zu diesem Zweck wurde eine Akzeptanzanalyse unter Kooperationslandwirten der untersuchten Kooperationen durchgeführt. Diese sollte erkennen lassen, welche Faktoren für eine gute Zusammenarbeit zwischen Beratern und Landwirten ausschlaggebend sind und welche Rahmenbedingungen die Akzep-

tanz von Maßnahmen beeinflussen bzw. erhöhen können. Kapitel 5.3 fasst die Datenrecherche zusammen, Kapitel 6.5 stellt die methodische Vorgehensweise dar und Kapitel 7.3 und 8.1 fassen die Ergebnisse der Akzeptanzanalyse zusammen.

Ursprünglich war beabsichtigt, Daten, die im Rahmen des Vollzugs des Wasserentnahmeentgeltes NRW (WasEG) der zuständigen Behörde (LANUV, Fachbereich 58) übermittelt werden, in diese Studie miteinzubeziehen und zu bewerten (s. Leistungsbeschreibung, Anhang 10.1). Eine datenschutzrechtliche Prüfung durch das LANUV ergab allerdings, dass eine solche Nutzung dieser Daten eine sogenannte „geänderte Verarbeitung“ darstelle und aus diesem Grund die Zustimmung eines jeden einzelnen Landwirts bedürfte. Aus Gründen der Praktikabilität wurde diese Absicht verworfen und die Datenerhebung über die Gewässerschutzberater bzw. die Wasserversorger organisiert.

3 Das kooperative Modell des Trinkwasserschutzes in NRW

3.1 Historische Entwicklung des kooperativen Gewässerschutzes

In den 1980er Jahren gab es zwei wesentliche Entwicklungen, die das Zusammenspiel von Landwirtschaft und Wasserwirtschaft deutschlandweit bestimmten (Conrad, 1992):

1. In einer Reihe von Wasserwerken wurde ein stetiger Anstieg des Nitratgehalts in den Wassergewinnungsanlagen beobachtet, die sich in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten befanden und die zu einer Reihe von Brunnenschließungen führten.
2. Aufgrund des auf EWR-Ebene eingeführten Nitratgrenzwertes (Richtlinie 80/778/EWG) wurde der Nitratgrenzwert für Trinkwasser in Deutschland von 90 auf 50 mg/l herabgesetzt.

In der Trinkwasserverordnung vom 22. Mai 1986 wurden Grenzwerte für Nitrat (50 mg/l NO_3^-) und Pflanzenschutzmittelrückstände (0,1 µg/l für einzelne Stoffe, 0,5 µg/l insgesamt) festgelegt, die weiterhin gültig sind. Infolge dieser Entwicklungen wurden in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre in mehreren Bundesländern unterschiedliche Herangehensweisen entwickelt, um das Problem der erhöhten Nitratgehalte zu lösen. In NRW wurde auf Initiative des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft im Juni 1989 das „12-Punkte-Programm“ (NRW Landesregierung et al. 1989) beschlossen. Impulsgeber für dieses Programm waren u.a. bestehende Formen der Kooperationsarbeit wie z. B. das Kölner Kooperationsmodell, gegründet Mitte der 1980er Jahre. Im 12-Punkte-Programm einigten sich Ministerium, Wasserversorgungsunternehmen, Landwirtschafts- und Gartenbauverbände, die Landwirtschaftskammern NRWs sowie Untere Wasserbehörden auf die Eckpunkte einer Zusammenarbeit. Im damit beschlossenen Modell des Kooperativen Gewässerschutzes wird die Arbeit am Trinkwasserschutz in Kooperationen dezentral durchgeführt. Diese Kooperationen sind regional begrenzte Arbeitskreise von einem oder mehreren Wasserversorgungsunternehmen mit den in ihren Wasserschutzgebieten wirtschaftenden Landwirten und Gärtnern. In den Arbeitskreisen handeln diese auf freiwilliger Basis standortangepasste Beschränkungen der Flächennutzung zwischen Land- und Wasserwirtschaft sowie Höhe und Modalitäten der zu gewährenden Ausgleichsleistungen aus (IWW, 2006).

Darauf aufbauend beschlossen im Jahr 1991 die damaligen beiden Landwirtschaftskammern in NRW und der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW, Landesverband NRW; damals Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Landesgruppe NRW) stellvertretend für die Wasserwirtschaft eine Rahmenvereinbarung zum kooperativen Gewässerschutz. Diese Rahmenvereinbarung wurde im Jahr 2002 sowie im Jahr 2012 novelliert (BDEW & LWK NRW, 2012). In den Anlagen dieser Rahmenvereinbarung werden u.a. Aspekte der Zusammenarbeit, wie z. B. Empfehlungen und Hinweise zur Formulierung von Aufgaben- und Stellenbeschreibungen für Gewässerschutzberater (Anlage 4) und Grundsätze der Düngeberatung in den Wasserschutzkooperationen (Anlage 3) gesondert geregelt. Diese Anlagen können unabhängig von einer Novellierung aktualisiert werden. Zum Beispiel wurde das „Ergebnis der Fachgespräche zu Grundsätzen der Düngeberatung in Wasserschutz-Kooperationen“ vom 30. März 2011 als Anlage 3 mit Anhängen in die Rahmenvereinbarung aufgenommen. Im Jahr 2013 wurde die Anlage um den Anhang „Hinweise zum Umgang mit Gärresten und zum Anbau von Silomais“, 2016 um den Anhang „Modul 'Grünlandtemperatursumme GTS 200'“ und 2018 (als Reaktion auf die im Jahr 2017 novellierte Düngeverordnung) um den Anhang „Abstimmung zu Grundsätzen der Düngeberatung in Wasserschutz-Kooperationen“ aktualisiert.

Der Gesamtaufwand für die Kooperationen wird von den Wasserversorgungsunternehmen finanziert. Ab dem 1. Februar 2004, mit Inkrafttreten des NRW Wasserentnahmeentgeltgesetzes (WasEG) (Landtag NRW, 2004), können Wasserversorger ihren Aufwand für die Kooperationen mit den von ihnen entrichteten Wasserentnahmeentgelten verrechnen. Derzeit liegt der Entgeltsatz für die Entnahme von Wasser zu Trink- und Brauchwasserzwecken bei 5 Cent/m^3.

Rund 60 Mio. € fallen jährlich für die Wasserversorgungsunternehmen als Wasserentnahmeentgelte für Trink- und Brauchwasser an, die derzeit mit rund 17 Mio. €/Jahr als Aufwendungen für den kooperativen Gewässerschutz verrechnet werden. Insgesamt liegen die Gesamteinnahmen der Wasserentnahmeentgelte (abzgl. der verrechneten Kooperationsaufwendung) bei ca. 93 Mio. €/Jahr (Möller,

pers. Mitteilung). Der überwiegende Anteil der WasEG-Einnahmen fließt in die Finanzierung von Maßnahmen der Wasserrahmenrichtlinie.

Von Beginn an wurde in NRW auf dezentrale Einigungen zwischen Wasserversorgern und Landwirten gesetzt. Die Regionalen Arbeitsgemeinschaften, die laut 12-Punkte-Programm von den Unterzeichnern zu bilden sind, werden im Wesentlichen damit beauftragt, durch regionale Abstimmungsgespräche die *Voraussetzungen* für kooperatives Handeln zu schaffen.[1] Die Art und Weise dieser Vereinbarungen bleibt jedoch den Kooperationen überlassen. Kooperationen können somit individuell ihre Arbeit gestalten, indem sie z. B. ihre eigenen Beratungskonzepte, Förderansätze und Maßnahmenkataloge entwickeln.[2]

Laut Odenkirchen und Fohrmann (2005; in IWW 2006) machen ein solches Modell folgende Vorteile aus:

1. standort- und problemangepasste Entwicklung und Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen;
2. geringere Kosten für Gewässerschutzmaßnahmen bzw. höheres Maß an Effizienz durch problemorientierte Allokation der eingesetzten finanziellen Mittel;
3. minimierter Verwaltungsaufwand;
4. höhere Identifikation der Beteiligten mit den Gewässerschutzzielen durch ein höheres Maß an Eigenverantwortung.

Hinzu kommt eine hohe zeitliche und räumliche Reaktionsfähigkeit der dezentralen Kooperationsarbeit bei Veränderungen, die die Landwirtschaft im Kooperationsgebiet betreffen (z. B. neue Technik, Veränderungen in der Fruchtfolge / im Kulturenanteil).

Abgesehen von Veränderungen im Zuge des Wasserentnahmeentgeltgesetzes gelten für die Zusammenarbeit in den Kooperationen in NRW die Grundsätze des 12-Punkte Programms. Soweit wir dies an den 20 untersuchten Kooperationen feststellen können, führte die dezentrale Organisationsform zu einer großen Bandbreite an Förder- und Beratungskonzepten. Allerdings ist aufgrund von Erfahrung bekannt, dass sich Ansätze über die Jahre angleichen können, z. B. wenn bisher erfolgreiche Ansätze von weiteren Kooperationen übernommen werden.

3.2 Bisherige Untersuchungen zum kooperativen Gewässerschutz in NRW

Im sog. „12-Punkte-Programm vom 09.06.1989“ (NRW Landesregierung et al. 1989) drückten alle Beteiligten aus Land- und Wasserwirtschaft vor dem Hintergrund des Handlungsdruckes der Einhaltung des Grenzwertes von Nitrat für das Rohwasser aus, von der Notwendigkeit einer Kooperation überzeugt und bereit zu sein, diese in Nordrhein-Westfalen zu praktizieren. Als Aufgabe wurde definiert, durch Gespräche auf regionaler Ebene Voraussetzungen für kooperatives Handeln zu schaffen, einen gegenseitigen Informationsaustausch zu gewährleisten, den Handlungsbedarf zur Entwicklung von Strategien zur Sicherung der Trinkwasserversorgung und für eine geordnete Land- und Gartenbauwirtschaft einzustehen.

Seit diesem Zeitraum – und z. T. bereits auch einige Jahre davor – haben sich in vielen Wasserschutzgebieten Kooperationen mit diesen und ähnlichen Zielstellungen entwickelt. Die beiden Kooperationen „*Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im rechtsrheinischen Langeler Bogen e. V*.“ sowie „*Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden e. V*.“ existierten in 2016 bereits seit 30

[1] Dazu kommt eine Rolle im Informationsaustausch und in der Strategieentwicklung.

[2] Um eine Verrechnung mit den Wasserentnahmeentgelten zu gewährleisten, müssen die Aufwendungen der Kooperationen eine Reihe von Kriterien erfüllen. Verrechnungsfähig sind personelle Aufwendungen für die Gewässerschutzberatung der landwirtschaftlichen/gärtnerischen Betriebe und Aufwendungen für Maßnahmen, sofern sie dem Schutz des entnommen Rohwassers dienen. Bei der vom Fachbereich 58 des LANUV durchgeführten Prüfung wird auch kontrolliert, ob der Empfänger von Ausgleichszahlungen Landwirt und Mitglied der Kooperation ist.

Jahren. In diesem Zeitraum wurden viele Erfahrungen gesammelt sowie, Erfolge aber auch Misserfolge erzielt. Übereinstimmend wird auch seitens der Wasser- und Landwirtschaft eingeschätzt, dass es auch nicht in Zahlen messbare Erfolge gebe: Ein vertrauensvoller Umgang miteinander, aber auch die Erkenntnis, dass beide Kooperationspartner ihre Daseinsberechtigung haben und wichtige Rollen in der Gesellschaft einnehmen, gehören in der Selbsteinschätzung der Kooperation dazu (Radzuweit et al. 2016).

Im Fokus der Kooperationen stand und steht immer, Böden und Gewässer in ihrer Unversehrtheit zu erhalten und nachteilige oder schädliche Veränderungen an Ihnen zu verhindern. Im Ergebnis sollten durch gemeinsamen Anstrengungen die Nitratgehalte im Grundwasser gesenkt und die Eintragspfade für Pflanzenschutzmittelrückstände identifiziert werden. Als wichtige Werkzeuge für den Gewässerschutz wurde im Kölner Gebiet z. B. der Zwischenfruchtanbau nach dem Kölner Mulchsaatverfahren, die Fruchtfolgegestaltung sowie der gezielte Einsatz von organischen und mineralischen Düngemitteln erkannt, Abbildung 1 zeigt dazu Minderungspotential und Kostenwirksamkeit von Maßnahmen.

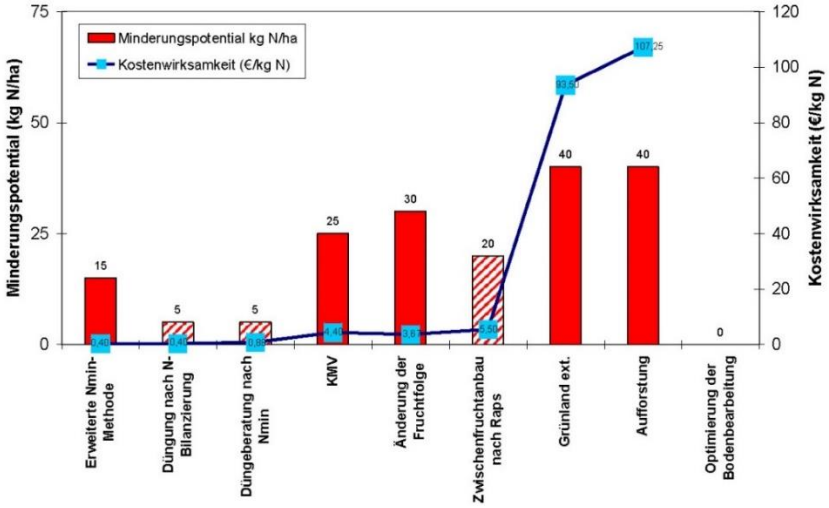


Abbildung 1: Darstellung der Maßnahmenwirkung aus Kooperationen zwischen Wasser- und Landwirtschaft in einem linksrheinischen Kooperationsgebiet

Erkennbar ist hier, dass Maßnahmen innerhalb der Landwirtschaft eine höhere Kosteneffizienz aufweisen als Aufforstung und extensive Grünlandnutzung. Die höchste Effizienz wird durch die sog. „erweiterte N_{min}-Methode“ (tiefenorientierte N_{min}-Beprobung) erreicht. Demgegenüber stehen Aufforstungen als relativ teure Maßnahmen und eine reduzierte Bodenbearbeitung zu relevanten Zeitpunkten in der regional bedeutenden Fruchtfolge, die in diesem Beispiel offenbar keinen nennenswerten Einfluss auf den Nitrataustrag hat. Die übrigen in Abbildung 1 dargestellten Gewässerschutzmaßnahmen sind nur zu bestimmten Zeiten in einer Fruchtfolge anwendbar und decken nur einen Teil der Flächenbewirtschaftung in den Wasserschutzgebieten ab (Oelmann et al. 2017).

Auch Institutionen der Wasserwirtschaft beschäftigen sich intensiv mit der Kooperationsarbeit und dokumentieren Ergebnisse aus Ihrer Sicht. In DVGW et al. (2019) wird z. B. darauf verwiesen, dass zusätzliche Aufwände und Kosten von Maßnahmen letztendlich vom Verbraucher über das WasEG finanziert werden. Aus Sicht des Verbraucherschutzes sei es daher unumgänglich, dass dem vorsorgenden Gewässerschutz auch zukünftig Rechnung getragen werden müsse und die zusätzlich anfallenden Kosten dem Verursacher gerecht zuzuordnen seien. Konkret führt der Bericht ein ambivalentes Beispiel aus NRW auf (dort Abbildung 2 auf S. 3), wo in einer Vorfeldmessstelle der Nitratgehalt bereits vor 16 Jahren (2003) über 50 mg/l lag und danach trotz langjähriger Kooperation weiter bis auf 260 mg/l anstieg. Die Kooperation bestehe im Umfeld der Messstelle seit dem Jahr 1993. Die Region sei intensiv landwirtschaftlich genutzt. Zwei Effekte haben nach der Interpretation des DVGW et al. (2019) im Wesentlichen zu dem steten Anstieg der Nitratwerte geführt. Zum einen habe die Förderung der Biogaserzeugung habe den Anbau von Mais für die Biogasnutzung von 35% seit dem Jahr 2003 auf mehr als 50% bis zum Jahr 2013 anwachsen lassen, mit einhergehender intensiver Düngung. Zudem wurde die sehr effektive Fördermaßnahme „Flächenstilllegung“ im Jahr 2008 eingestellt, was danach zahlreiche Dauergrünlandumbrüche mit entsprechenden Stickstoffschüben ausgelöst habe.

Im unmittelbaren Anstrombereich der Messstelle wurde Ende 2011 teilweise Dauergrünland in Ackerland umgebrochen. Seit dem Jahr 2011 wurde dann die Einhaltung eines verbindlichen Stickstoffwertes im Boden nach der Ernte im Herbst (N_{min}) in Höhe von maximal 45 kg N/ha als Fördermaßnahme eingeführt. 2014 wiederum wurde der Zielwert nochmals auf maximal 40 kg N/ha abgesenkt, was dann eine Stagnation des Nitratanstiegs bis hin zu einem leichten Rückgang zur Folge hatte. Erkennbar wird anhand dieses Beispiels die Sensitivität von Maßnahmen der Kooperationen.

Im „12-Punkte-Programm“ wurde auch geregelt, dass für die Klärung von Wirkungszusammenhängen zwischen Grundwasserbelastungen, Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft zukünftig unabhängige, wissenschaftliche Evaluierungen des Erfolges der Kooperationen stattfinden sollten.

Genannt wurden 1) Intensivierung der Untersuchungen über Ausmaß und Quellen stofflicher Belastungen der Gewässer unter Einbeziehung aller möglichen Emittenten, (2) regionalisierte Bilanzen der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und des Austrags von Wirkstoffen, (3) Einzeluntersuchungen zur stofflichen Belastung der Gewässer in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen sowie (4) Auswirkungen verschiedener Ausbringungstechniken in Landwirtschaft und Gartenbau auf den Eintrag von PSM in die Gewässer. Eine solche Evaluierung fand erstmals in den 2000er Jahren (IWW 2000 als sog. „Vorstudie“, IWW 2006) statt und wird mit der hier vorgelegten Studie aktualisiert.

Im Jahr 2006 kam die Studie u. a. zu dem Ergebnis, dass zwar deutliche und auf die Flächennutzung der jeweiligen Kooperationszeiträume zurückzuführende Verbesserungen der Grund- und Rohwasserbeschaffenheit nachgewiesen werden konnten, so dass die Effizienz des kooperativen Gewässerschutzes als belegt betrachtet werden könne. Deutlich betont wird jedoch auch, dass die Einzelergebnisse eine Reihe fachlicher Unschärfen aufweisen und sich somit nur begrenzt als (alleinige) Grundlage zur weiteren Entwicklung der Kooperationsarbeit eignen. Aus diesem Grund wurde deutlich seitens der Autoren von IWW (2006) betont, dass sowohl die Erfassung und Sichtung der notwendigen Eingangsdaten als auch ihre Auswertung in erheblichem Umfang durch fachlichen Sachverstand begleitet werden müsse, um individuell fachliche Besonderheiten der Kooperationsgebiete, die sich nicht automatisiert erfassen ließen, bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigen zu können.

Aktuell betont der „Nährstoffbericht“ der Landwirtschaftskammer (LWK 2018a) die Bedeutung der Wasserschutzberatung hinsichtlich der Beschleunigung notwendiger Anpassungen im Düngemanagement. Der Wasserschutzberatung wird zwar attestiert, auf einem guten Weg zu sein; betont wird jedoch auch, dass weiterhin auf ein gewässerschonendes Düngemanagement unter Nutzung obiger Erkenntnisse konsequent hingewirkt werden müsse. Gestützt auf Erfahrungen aus dem umfangreichen Feldversuchswesen wird darauf hingewiesen, dass auf WRRL-Modellbetrieben sowie im kooperativen Gewässerschutz Praxislösungen entwickelt und demonstriert werden. Es gelte, diese Ansätze weiterzuentwickeln und durch eine verstärkte Beratung in der Praxis zu etablieren, so das Fazit des Berichtes.

Auch in anderen Bundesländern existieren bereits langjährige Erfahrungen mit Trinkwasserschutzkooperationen, insbesondere in Niedersachsen und Baden-Württemberg (s. Kap. 3.3).

3.3 Erfahrungen aus anderen Bundesländern

Um Ansätze zu identifizieren, die ggf. von Interesse für eine künftige Ausgestaltung der Trinkwasserkooperationen und für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Nordrhein-Westfalen sein können, wurden im Rahmen dieses Auftrages Erfahrungen im Trinkwasserschutz ausgewählter Bundesländer überprüft.

Dabei liegt das Augenmerk nicht auf Beratungskonzepten oder einzelnen Gewässerschutzmaßnahmen, da in Bezug auf Fachexpertise und Erfahrungen die Trinkwasserkooperationen in NRW, soweit dies an 20 Kooperationen festzustellen ist, sehr gut aufgestellt sind – das Ergebnis von ca. 30-jähriger intensiver Kooperationsarbeit. Stattdessen, liegt der Fokus der Analyse auf organisatorischen Aspekten. Im Folgenden werden ausgewählte Ansätze zusammengefasst und Aspekte hervorgehoben, die für die oben erwähnte künftige Ausgestaltung von Relevanz sein können.

3.3.1 Thüringen

In vielen Bundesländern werden die Wasserversorger (als Begünstigte der ausgleichpflichtigen Maßnahmen) im jeweiligen Landeswassergesetz dazu verpflichtet, Mehraufwendungen bzw. Mindererträge, die durch die Umsetzung von Auflagen in den Wasserschutzzonen entstehen, auszugleichen.[3] In Thüringen werden mittlere jährliche Herbst-N_{min}-Richtwerte (0-60 cm) für landwirtschaftliche Flächen in Wasserschutzzonen II ermittelt, die als Grundlage einer Prüfung von Ausgleichszahlungen fungieren. In einer Probenahmekampagne werden nach Bodenartgruppen differenzierte Herbst-N_{min}-Vergleichswerte ermittelt, auf welche 10 kg N/ha („Streuungswert") addiert werden um dann einen „modifizierten N_{min}-Richtwert" zu bilden. Dieser fungiert als jahresspezifischer oberer Toleranzwert für Ausgleichszahlungen.[4]

Auch wenn solch ein rein ordnungsrechtlicher Ansatz kaum Berührungspunkte mit den freiwilligen Kooperationen in NRW hat, ist die amtliche Herbst-N_{min}-Kampagne aus Sicht einer Erfolgskontrolle interessant. In Thüringen werden ca. 400 repräsentativ über die Wasserschutzgebiete II und III verteilte variable und fixe N_{min}-Vergleichsflächen im November des jeweiligen Jahres beprobt; ca. zwei Drittel davon befinden sich in Wasserschutzzonen II. Dazu kommen ca. 200 beprobte Flächen *außerhalb* von Wasserschutzgebieten, die – zumindest ansatzweise – einen Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte zwischen Flächen in- und außerhalb von Wasserschutzgebieten ermöglichen.

Bei der Umsetzung dieses Aspekts ist ihre Reichweite zu bemängeln. Mit insgesamt aktuell ca. 600 beprobten Flächen (dazu mit rückläufiger Tendenz) und eine Differenzierung lediglich nach Bodengruppenarten und nicht nach Kulturen, scheint uns dieses Instrument in seiner jetzigen Ausgestaltung nicht ausreichend differenziert. Hinzu kommt, dass die Herbst-N_{min}-Proben nur bis 60 cm und nicht bis 90 cm Tiefe genommen werden.

3.3.2 Baden-Württemberg

Im Jahr 1987 hat Baden-Württemberg mit seiner Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (Landtag BW, 1987) den Wasserschutz zur hoheitlichen Aufgabe gemacht – dies „war und ist einzigartig in Deutschland" (Finck und Übelhör, 2010). Die mit ihr verbundenen Aktivitäten (inkl. Ausgleichszahlungen und Kontrollkampagnen) werden durch das Land Baden-Württemberg finanziert. Die SchALVO hat zum Ziel, Grund- und Quellwasser sowie die oberirdischen Gewässer in den Wasserschutzgebieten vor Stoffeinträgen, insbesondere von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln, zu schützen. Die Maßnahmen der SchALVO schränken die ordnungsgemäße Landbewirtschaftung ein; Landwirte können für ihren Mehraufwand und Ertragseinbußen einen finanziellen Ausgleich erhalten. Die SchALVO ist nicht freiwillig – jeder Landwirt mit Flächen in Wasserschutzgebieten ist verpflichtet, daran teilzunehmen.

Mit der Novellierung der SchALVO in 2001 (Landtag BW, 2001) wurden die Wasserschutzgebiete nach Belastung des Grundwassers mit Nitrat in drei Klassen eingeteilt (Normal-, Problem- und Sanierungsgebiete), für die entsprechend abgestufte Schutzbestimmungen gelten. In Normalgebieten (geringe Nitratbelastung) müssen Landwirte lediglich allgemeine Schutzbestimmungen beachten, dazu ein Grünlandumbruchverbot und, in der WSG Zone II, Einschränkungen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Ein finanzieller Ausgleich ist nur für die wirtschaftlichen Nachteile aufgrund der Einschränkungen bei der Düngerausbringung möglich. In Problemgebieten (mittlere Nitratbelastung) und Sanierungsgebieten (hohe Nitratbelastung) gelten weitere Einschränkungen der ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung. Pauschal werden in Problemgebieten 165 €/ha und in Sanierungsgebieten 180 €/ha gezahlt, wobei die geförderte landwirtschaftliche Fläche bestimmte Grenzwerte für die Herbst-N_{min}-Werte einhalten muss. Die Annahme ist, dass bei einer SchALVO-gemäßen Bewirtschaftung diese Grenzwerte nicht überschritten werden. Bei Überschreitung der Herbst-N_{min}-Grenzwerte und gleichzeitigem Nachweis einer korrekten Umsetzung der Auflagen durch den Landwirt, kann ggf.

[3] Mit Auflagen sind z. B. Beschränkungen beim Einsatz von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, aber auch die Begrenzung der Düngerausbringung gemeint.
[4] Siehe als Beispiel für das Jahr 2018: http://www.tll.de/www/daten/publikationen/merkblaetter/mb_nmin_herbst.pdf

trotz Überschreitung ein Ausgleich gezahlt werden. Ebenso kann auf Nachweis von erhöhten Eintragsbußen und Mehraufwendungen, anstelle der Pauschale eine höhere Ausgleichsleistung (Einzelausgleich) erfolgen.

Die Kontrolle erfolgt somit im Wesentlichen über Herbst-N_{min}-Proben (0-90 cm), die zwischen dem 15. Oktober und dem 15. November eines jeden Jahres gezogen werden. Die Zahl der beprobten Flächen ist im Laufe der Jahre deutlich zurückgegangen; von rund 80.000 beprobten Standorten pro Jahr zwischen 1989 und 1995 auf derzeit rund 17.000 Standorte (LTZ, 2017).[5] Momentan liegt die Beprobungsdichte als Anteil beprobter Fläche an der landwirtschaftlichen Fläche in den Normalgebieten bei 3%, in Problemgebieten bei 22% und in den Sanierungsgebieten bei 38% (LTZ, 2017). Neben den Herbst-N_{min}-Werten werden von den Unteren Landwirtschaftlichen Behörden 5% der Betriebe sowie 25% der Fläche in den Problem- und Sanierungsgebieten hinsichtlich der Umsetzung der Bewirtschaftungsauflagen kontrolliert (Finck 2019).

Ähnlich wie in den Wasserschutzgebieten in NRW, die auf das Prämienmodell setzen, werden die Kontrollergebnisse der Herbst-N_{min}-Kampagnen nicht nur zu Kontrollzwecken, sondern auch als Grundlage für eine gezielte Beratung durch die Wasserschutzberater genutzt. Darüber hinaus werden die Werte der SchALVO-Herbstkontrollaktion durch das LTZ statistisch ausgewertet und in einem jährlichen SchALVO-Nitratbericht veröffentlicht. Die Berichte dienen insbesondere dem Monitoring, um Entwicklungen rechtzeitig erkennen zu können und fachliche Grundlagen für eine optimierte Maßnahmengestaltung zu schaffen.

Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Anlegung von Vergleichsflächen im Rahmen der SchALVO, um (1) die witterungsbedingten Einflüsse bezüglich der Einhaltbarkeit der SchALVO-Grenzwerte zu überprüfen, (2) mögliche Ertrags- und Qualitätseinbußen als Berechnungsgrundlage für Ausgleichsleistungen zu ermitteln und (3) die Effizienz verschiedener Bewirtschaftungsauflagen hinsichtlich der Minimierung des Nitratauswaschungspotenzials zu bewerten (LTZ, 2010). Insbesondere Punkt 3 kann als interessanter Ansatz betrachtet werden. Um zu einer Einschätzung der Wirkung einzelner Maßnahmen auf die Nitratgehalte im Boden zu gelangen, werden Flächen nach Vorgaben des LTZ Augustenberg nach SchALVO sowie im Sinne einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung (ogL) bewirtschaftet. Das LTZ Augustenberg räumt ein, dass die Vergleichsflächen „Praxisschläge ohne Wiederholungen sind und somit nicht den im Versuchswesen geltenden Anforderungen an Reproduzierbarkeit, Dokumentation und Betreuung durch entsprechend qualifizierte Versuchsansteller entsprechen“. Allerdings lassen die mehrjährigen Auswertungen der einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen eine gesichertere Bewertung der einzelnen Maßnahmen hinsichtlich der Minderung des Nitratauswaschungsrisikos zu (LTZ, 2010).

3.3.3 Bayern

Relativ wenige Bundesländer nutzen Ansätze, die über das jeweilige Ordnungsrecht hinausgehen. Zu diesen zählt Bayern, wo auf eine Kombination von gesetzlich vorgeschriebenem Ausgleich und Kooperationsarbeit gesetzt wird. In den Kooperationen werden „weitergehende Leistungen der Landwirtschaft für den Grundwasserschutz“ durchgeführt.

Die Art und Weise, wie diese Kooperationen gestaltet werden, ähneln stark dem aktuell in NRW implementierten Ansatz. Auch in Bayern handelt es sich um dezentral und freiwillig organisierte, privatrechtliche Kooperationen zwischen Trägern der öffentlichen Wasserversorgung und den im Trinkwassereinzugsgebiet wirtschaftenden Landwirten. Die Vereinbarungen werden direkt zwischen dem jeweiligen Wasserversorger und den Landwirten, die in deren Schutz- und Einzugsgebiet wirtschaften, ausgehandelt, umgesetzt und kontrolliert. Laut dem Bayerischen Landesamt für Umwelt haben mehr

[5] Daten für 2016 aus dem letzten öffentlich gemachten SchALVO Nitratbericht. Die Berichte finden sich unter http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/pb/MLR.LTZ,Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Wasserschutzgebiete

als 200 Wasserversorger freiwillige Vereinbarungen mit den in ihren Schutzgebieten wirtschaftenden Landwirten abgeschlossen.[6]

Wohl aufgrund der Ähnlichkeit der Organisationsform können die Gutachter keine aus Sicht des Landes Nordrhein-Westfalen interessante Ansätze ausmachen. Dies gilt sowohl für die Maßnahmen an sich[7] als auch für die organisatorischen Regelungen und Abläufe. Ähnlich wie in NRW werden in Bayern entweder die Umsetzung einzelner Maßnahmen gefördert oder Prämien nach Herbst-N_{min}-Werten ausgezahlt. Auch die Beratungsansätze und die vom Land empfohlenen Maßnahmen sind praktisch deckungsgleich mit denjenigen in NRW.

Eine wichtige Ausnahme bildet eine in Franken umgesetzte Initiative: das Wasserschutzbrot. In dieser 2014 gegründeten Initiative verzichten derzeit 32 Landwirte in Unterfranken, Oberfranken und Mittelfranken auf die dritte Düngungsgabe im Weizen und erhalten dafür einen Ausgleich des Wasserversorgers für die geringeren Proteingehalte und dadurch geringere Abnahmepreise.[8] Das Getreide wird in sechs am Projekt teilnehmenden Mühlen getrennt vermahlen und gelagert; anschließend wird es zu den am Projekt beteiligten Bäckern verteilt. Das Wasserschutzbrot wird an über 80 Verkaufsstellen angeboten.

Abbildung 2: Bildschirmfoto der Wasserschutzbrot-Webseite mit Auflistung teilnehmender Landwirte

[6] Anders als in NRW können diese Zahlungen allerdings nicht gegen Wasserentnahmeentgelte oder andere Gebühren gegengerechnet werden. Dies bedeutet allerdings auch, dass die Wasserversorgungsunternehmen in ihren Kooperationen Flächen außerhalb des Wasserschutz- aber innerhalb des Einzugsgebietes aufnehmen können. Solche Zahlungen können auch in NRW nicht abgegolten werden.
[7] https://www.lfu.bayern.de/wasser/trinkwasserschutzgebiete/kooperation_mit_landwirten/index.htm. S. auch Projektkennblätter ausgewählter bayerischer Kooperationen.
[8] Laut einem Zeitschriftenartikel aus dem Jahr 2016 erhalten die Landwirte 150 € pro grundwasserschonend bewirtschafteten Hektar (https://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Umwelt/Brot-soll-Trinkwasser-schuetzen_article1452062278.html).

Die Initiative hat ein eigenes Logo und setzt stark auf Öffentlichkeitsarbeit. Die Getreidefelder werden mit Schildern gekennzeichnet und teilnehmende Landwirte, Wasserversorger, Mühlen und Bäcker im Webauftritt einzeln mit Bildern aufgelistet. Die Verkaufsstellen in ganz Franken sind mittels eines online-Webdienstes auf der Webseite der Initiative www.wasserschutzbrot.de leicht aufzufinden.

Im Jahr 2018 gewann die Initiative den Deutschen Nachhaltigkeitspreis sowie den Preis vom Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) - Landesverband NRW.

3.3.4 Niedersachsen

In Niedersachsen begann die Kooperationsarbeit fast zeitgleich mit der Einführung der Wasserentnahmegebühr (WEG) im Jahr 1992.[9] Seitdem werden die durch die WEG erhobenen Mittel „vornehmlich“ (NLWKN 2015) zur Minderung landwirtschaftlicher Einträge ins Grundwasser eingesetzt. Wie in NRW werden die so erhobenen Mittel genutzt, um (1) die Beratungsarbeit (einschließlich Boden- und Gewässeruntersuchungen) und (2) Ausgleichszahlungen an Landwirte zu finanzieren. Anders als in NRW finanzieren die Mittel in Niedersachsen allerdings auch Aktivitäten, die über die direkte Kooperationsarbeit hinausgehen: (3) die Erkundung und Bewertungen von Grundwasserbelastungen und (4) die Erforschung von Grundwasserschutzpraktiken in Modell- und Pilotbetrieben (NLWKN 2015).

Insgesamt gibt es große Gemeinsamkeiten in den Prinzipien, nach denen die Kooperationsarbeit in NRW und Niedersachsen gestaltet ist. Die Kooperationen in Niedersachsen sind auch eigenverantwortliche Gremien der Wasserversorgungsunternehmen und der Landbewirtschafter, die auf freiwilliger Basis zusammenarbeiten. Wie es auch in NRW der Fall sein kann, setzen sich Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen des Öfteren aus mehreren Wasserschutzgebieten unterschiedlicher Wasserversorger zusammen. Auch die Stimmengleichheit zwischen WVU und Landwirten findet sich oft in den Kooperationen NRWs wieder.

Wesentliche Unterschiede gibt es jedoch im Grad der Strukturierung und Formalisierung der Kooperationsarbeit. In Niedersachsen gibt es seit 2007 eine Kooperationsverordnung (Landtag NI, 2007), die wesentliche Aspekte der Zusammenarbeit auf Landesebene regelt. Unter anderem ist die Erstellung eines fünfjährigen Schutzkonzepts Voraussetzung für die Inanspruchnahme von Finanzmitteln für Grundwasserschutzmaßnahmen innerhalb einer Kooperation. Die Umsetzung der in diesem Konzept beschriebenen Leistungen wird mittels eines Finanzhilfevertrags zwischen dem Land und dem WVU abgeschlossen. Die umzusetzenden Maßnahmen müssen denen eines landesweit geltenden Maßnahmenkatalogs entsprechen; bei der Erstellung des Schutzkonzepts ist es allerdings möglich, mit dem NLWKN über die konkrete Ausgestaltung der Maßnahmen zu verhandeln, es gibt also auch gewisse Spielräume in ihrer Gestaltung.

Ein weiterer Unterschied zur Kooperationsarbeit in NRW ist, dass in Niedersachsen die Maximalhöhe der Finanzierung einer Kooperation nicht den vom WVU entrichteten Wasserentnahmegebühren gleicht. Einerseits werden, wie oben dargelegt, Aktivitäten jenseits der direkten Kooperationsarbeit durch die WEG finanziert, wodurch die zur Verfügung stehenden Mittel verringert werden. Andererseits verteilt das NLWKN die verbleibenden Mittel auch unter Berücksichtigung weiterer Kriterien, wie z. B. der Dringlichkeit der Grundwasserproblematik in den jeweiligen Wasserschutzgebieten. Somit entsteht, unabhängig davon ob dies im Sinne der WVUs ist oder nicht, eine Art Solidaritätsgemeinschaft unter den niedersächsischen WVUs. In NRW scheint dies, soweit die Gutachter dies im Rahmen unserer Untersuchungen von 20 Kooperationen feststellen konnten, nur sehr begrenzt der Fall zu sein. Lediglich in einigen kreisweiten Kooperationen konnten wir feststellen, dass kleinere Wasserversorger durch die Zusammenarbeit mit größeren WVUs profitieren, z. B. durch die Mitnutzung von Geräten. Die Zentralisierung und die damit einhergehende erhöhte Formalisierung hat sowohl bedeutsame Nachteile als auch sehr wesentliche Vorteile gegenüber einem dezentralen Kooperationsmodell, wie es in NRW praktiziert wird.

Nachteilig wirkt sich die eingeschränkte Flexibilität in der Maßnahmenauswahl und -gestaltung aus; beide werden in NRW sehr flexibel gehandhabt, was wiederum die Akzeptanz seitens der Landwirte

[9] Einige wenige Kooperationen wurden aufgrund der Initiative niedersächsischer WVUs vor 1992 gegründet.

fördert. Dies ermöglicht zudem eine schnelle Reaktionsfähigkeit auf Veränderungen. Die Aufnahme von neuen Maßnahmen, z. B. eine verminderte Bodenbearbeitung nach Ernte einer gewissen Kultur, die sich neu im WSG etabliert, oder aber Änderungen am Förderkonzept, können in NRW sehr zügig entschieden und umgesetzt werden. Die ggf. rasche Aufnahme der Bedenken der Landwirte in der Kooperationsarbeit ist für deren zufriedene Teilnahme von grundlegender Bedeutung und somit von großem Vorteil. Ein weiterer nachteiliger Punkt ist der im Vergleich zu einem dezentralen Modell wesentlich höherer Verwaltungsaufwand, der insbesondere die Wasserversorger betrifft. Hierzu zählt der Verwaltungsaufwand der Erstellung des fünf Jahre geltenden Schutzkonzepts sowie der Abstimmungsprozess mit dem NLWKN.

Die Formalisierung in Niedersachsen weist allerdings auch erhebliche Vorteile auf. Dazu zählen eine gute Abstimmung der Beratungsarbeit und der Maßnahmengestaltung mit EU-Vorgaben, was von Nutzen sowohl für die verantwortliche Behörde als auch für die Kooperationslandwirte sein kann. Einen finanziellen Vorteil bereitet die Tatsache, dass die Beratung in den niedersächsischen Wasserschutzgebieten, die dort „Wasserschutzzusatzberatung“ heißt, von der EU kofinanziert wird. Eine weitere, aus Wasserschutzperspektive hoch interessante Möglichkeit, ist das Einfrieren des pDGL(potenzielles Dauergrünland)-Status bei Grünlandförderung. Wenn der Landwirt mit einer als dreijährigem Grünland geführten Fläche in eine grünlandrelevante Maßnahme eintritt, bleibt der offizielle Status dieser Fläche über die Jahre, in denen diese Art von Maßnahme in Anspruch genommen wird, „3-jähriges Grünland“. Somit gibt es auch bei langjährigem Grünlanderhalt für diese Flächen keinen Verlust des Ackerstatus. Es erübrigt sich somit z. B. der alle 6 Jahre geschehene Grünlandumbruch, durch den der Ackerstatus nicht verloren gehen sollte, und der zu sehr hohen Stickstoffauswaschungen führt. Auch die regelmäßige Erstellung eines Schutzkonzepts einer Kooperation führt zu einer eingehenden Beschäftigung mit den Schwerpunkten der Kooperationsarbeit und deren Anpassung an Entwicklungen. Ein weiterer Vorteil ist die Tatsache, dass das niedersächsische Modell eine Ausschreibung der Beratungsleistungen vorsieht, an der sich neben der niedersächsischen Landwirtschaftskammer auch Ingenieurbüros beteiligen können. Dies unterstützt eine gesunde Konkurrenzsituation.

Ein letzter, aus Sicht des Konsortiums wichtiger Aspekt der Kooperationsarbeit in Niedersachsen, ist der Umgang mit Daten aus der Landwirtschaft. In Niedersachsen ist es gelungen, eine Form der Datenerfassung und -übermittlung zu finden, die sowohl den Bedenken der Landwirte hinsichtlich des Datenschutzes als auch der Datenbedürfnisse für eine Auswertung der Kooperationsarbeit seitens des NLWKN Rechnung trägt. Mit den im Rahmen eines klar strukturierten Berichtswesens eingereichten, anonymisierten Daten werden sowohl Wirksamkeit und Effizienz der Gewässerschutzmaßnahmen ausgewertet und eine Erfolgsbewertung der Gewässerschutzberatung durchgeführt. Dies ermöglicht wiederum eine Erfolgsbewertung der umgesetzten Schutzkonzepte der jeweiligen Kooperationen (NLWKN 2019b).

Wo früher Mittelwerte als Erfolgsparameter für Kulturen und Untersuchungsräume eingetragen wurden, werden mittlerweile von den Wasserversorgern Einzelwerte (also Werte für die einzelnen Flächen) in die DIWA-Formulare eingetragen (NLWKN 2019b). Die Anonymität der landwirtschaftlichen Betriebe bleibt trotz Weitergabe von Einzeldaten gewahrt. Beispielsweise werden Betriebsdaten lediglich mit einer laufenden Nummer an den NLWKN weitergegeben, die Angabe der Betriebsgröße kann gerundet werden, und Nährstoffmengen werden als hektarbezogene Daten erfasst, sodass kein Bezug zu einem bestimmten landwirtschaftlichen Betrieb hergestellt werden kann (NLKWN 2019b).

4 Auswahl der Gebietskulisse und Kurzcharakterisierung der ausgewählten Kooperationen

4.1 Vorgaben der Leistungsbeschreibung

Die der Studie zugrundeliegende Leistungsbeschreibung (LB, s. Anhang 10.1) benennt einige zentral zu berücksichtigende Aspekte, wie:

„*Für die detaillierte Untersuchung ist eine geeignete Anzahl von Untersuchungsräumen in den Bieterkonzepten auszuwählen und einzeln zu benennen. Als Untersuchungsgebiet werden die jeweiligen Einzugsgebiete der Trinkwassergewinnung festgelegt. Dies gilt auch für Trinkwassertalsperren. WRRL-Maßnahmenräume werden im Projekt nicht untersucht und nur im Ausblick (Übertragung von Maßnahmen, Verlagerungseffekte) betrachtet*“.

Zudem sind in der LB einige wichtige „Repräsentativitätskriterien“ genannt:

- Regionale Arbeitsgemeinschaften (zugleich als landwirtschaftliche Kategorie als auch als Abbild der großen hydrogeologischen Einheiten);
- Repräsentative Verteilung zwischen Westfalen und Rheinland;
- Landwirtschaftliche Nutzung (viehstarke Regionen, Gemüsebauregionen, Getreideanbau, Hackfrüchte, Sonderkulturen; Gebiete mit hohem Ackerflächenanteil, Grünland und Art der Grünlandbewirtschaftung, Derogation und ggf. sonstige Ausnahmen; Marktfruchtregionen (Getreide, Zuckerrüben etc.) Biogasanlagen, Ausbringung Gärreste, Anbau sog. „nachwachsender Rohstoffe“, Viehbestände, Wirtschaftsdüngeraufkommen und -importe, Bioabfallverwertung Extensivierungsflächen u. a.) um sinnvolle Aussagen zu den verschiedenen landwirtschaftlichen Bereichen zu ermöglichen;
- Einzugsgebiete mit erkennbaren Erfolgen aber auch mit steigenden / stagnierenden Nitrattrends;
- Große und kleine Wasserversorgungsunternehmen und Kooperationen sowie
- Grundwasser- und Talsperren-Kooperationen In den Untersuchungsräumen sollten aufgrund der Gegebenheiten sowohl Maßnahmen und Effizienzkontrolldaten zu Stickstoff als auch zu PSM und ggf. PSM-Metaboliten vorhanden sein.

Die Auswahl der Gebiete ist insbesondere auszurichten auf

- die Möglichkeit der Ergebnisübertragung auf andere (nicht untersuchte) Kooperationen;
- die über vergleichbare Randbedingungen verfügen (ggf. „Klassifizierung/ Typisierung“ von Kooperationen);
- eine Analyse der in für die übergeordneten Zielvorstellungen des Landes bzw. in IWW 2006 bezeichneten „Störfaktoren“ sowie
- die Möglichkeit des Erkenntnistransfers auf andere Gebiete.

Benannt ist in der Leistungsbeschreibung zudem, dass der Betrachtungszeitraum sich auf den Zeitraum der jeweiligen Kooperationsgründung bis 31.12.2016 erstrecken soll.

4.2 Orientierende Kriterien der Gebietsauswahl

Folgende Prämissen wurden aus den Gesprächen in dem - der Beauftragung voranlaufenden - Dialogprozess und den in der LB genannten Kriterien hinsichtlich der vorläufigen Auswahl von Wasserschutzgebieten (WSG, nachfolgend vereinfacht: Gebiete) abgeleitet:

1. Die vorläufige Auswahl wurde auf Basis der im Dialogprozess erreichten und nachgefragten Mitwirkungsbereitschaft zur aktiven Datenlieferung der betroffenen Akteure und zu bereits vorhandenen Erfahrungen aus bestehenden Kooperationen vorgenommen, was eine unabdingbare Voraussetzung zur vorläufigen Auswahl eines Gebietes war.
2. Es sollte sich um ein Trinkwasserschutz- und gleichzeitig ein Kooperationsgebiet mit einem hohen Flächenanteil von aktiv mitwirkenden Landwirten handeln. Bei Unklarheiten wurden entsprechende Gespräche vor der endgültigen Auswahl unter Mitwirkung der Verbände und/oder der Landwirtschaftskammer geführt.
3. Die räumlich im Land sehr unterschiedlich ausfallende Verteilung des Reduktionsbedarfes des Stickstoffüberschusses (nach Kuhr & Wendland 2014) sollte sich in der Wahl der Gebiete wiederfinden, vor allem bei maximalen Werten von 60 kg N/(ha*a) ohne Denitrifikationspotential des Untergrundes.
4. Folgende Kriterien wurden besonders zur vorläufigen Auswahl der Gebiete gewichtet:
    - Repräsentative Verteilung der wichtigsten Landnutzungsanteile bei besonderer Gewichtung heterogener landwirtschaftlicher Nutzungsformen und dem Auftreten von „Problemnutzungen“ (Sonderkulturen wie Obst- und Gemüseanbau);
    - Repräsentative Verteilung der Viehdichten (Thünen Institut 2014) und der elektrisch installierten Leistung der Biogasanlagen (ZNR & LWK NRW 2016);
    - Die naturräumliche Ausstattung des Gebietes (klimatische Faktoren, Verbreitung von Bodentypen und -arten) sollte landesweit möglichst charakteristisch sein;
    - Hydrogeologischer Aufbau des Untergrundes (Lithologie / Mächtigkeit der ungesättigten sowie gesättigten Zone, hydraulische Durchlässigkeiten, Verweilzeiten);
    - Geringe Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone sowie Fließzeiten im Grundwasser (summarische Reaktions- oder Gesamtfließzeit möglichst <10 Jahre);
    - Soweit möglich eine stabile Landnutzung seit Beginn der Kooperation (keine großflächigen Veränderungen der Kulturen).
5. Die absolute Größe eines Gebietes ist im Vergleich zur repräsentativen Ausstattung hinsichtlich der o. g. Kriterien nicht entscheidend. Orientierend wurde eine Untergrenze definiert (z. B. 1.000 ha), um zu kleine Gebiete nicht zu überwichten;
6. Die an der Höhe der jährlichen Entnahmemenge von Grundwasser gemessene Größe des WVU sollte sich deutlich innerhalb der Gebietskulisse unterscheiden;
7. Bekannte Daten zur zeitlichen Entwicklung der Nitratgehalte (fallende / steigende Trends) und zu den Stickstoffüberschüssen (Kuhr & Wendland 2014) sollten berücksichtigt werden;
8. Das wiederholte Auftreten von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSM) bzw. deren Metaboliten im Grundwasser sollte sich – wenn auch zu Nitrat untergeordnet - in der Gebietskulisse widerspiegeln.

Gebieten mit Trinkwassergewinnung aus Talsperren und Oberflächengewässern wurde dagegen aufgrund des dort zumeist nicht bestehenden bzw. geringeren Problemdruckes durch landwirtschaftliche Intensität nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen, da die Einzugsgebiete im Mittelgebirge häufig in höheren Anteilen bewaldet sind und der Grünlandanteil gegenüber Ackerland überwiegt bzw. oft reduzierende Verhältnisse in den Niederungen der Flussauen bei der Uferfiltration herrschen.

Abgeleitet aus den in genannten Anforderungen wurde bereits im Dialogprozess auf Basis der vom LANUV NRW digital übermittelten Daten eine Vorauswahl von Gebieten vorgenommen. Nachfolgend beschreiben wir die dafür angewendete Methodik, die im Wesentlichen auf der Zuordnung von Flächenattributen zu den ausgewählten Trinkwasserschutzgebieten mittels GIS-Analyse basiert. Zusätzlich erläutern wir die vorgenommene Klassifizierung im Hinblick auf ihre Verwendung als Auswahl-, Repräsentanz- oder Ausschlusskriterien.

Erste Grundlage der Auswahl von Trinkwasserschutzgebieten waren die zur Verfügung gestellten GIS-Daten zu allen Schutzgebieten. Hieraus wurde zunächst pro Gebiet eine Aggregierung der einzelnen Schutzzonen vorgenommen, so dass zumeist mit der umhüllenden Schutzzone III weitergearbeitet wurde. Anschließend wurden sehr kleine Gebiete (< 10 km² bzw. 1.000 ha Gesamtfläche aller Schutzzonen eines WSG) aus der Analyse herausgenommen, um für das Ziel der Ableitung landesweit gültiger Schlussfolgerungen sehr kleine und damit nicht repräsentative Gebiete bzw. Maßnahmen vorab auszuschließen. Nur in zwei Fällen mit jeweils etwa 7 km² bzw. 700 ha wurde davon abgewichen, da hier bereits eine Bearbeitung in IWW (2006) stattgefunden hatte. Im Ergebnis verblieben 179 WSG mit einer Flächengröße bis maximal etwa 500 km² (WSG Bad Pyrmont).

Tabelle 1: Detaillierte Angaben zu den verwendeten Auswahlkriterien der Gebiete

Name Kriterium	Verwendung?		Klassen (Grenzwerte)	Datenquelle bzw. Angaben zur Herkunft
Gebietsgröße	Nein	Ja	GIS-Analyse	Shape WSG (LANUV)
Regionalität	Nein	Ja	Regierungsbezirke	Verwaltungsgrenzen
Hydrogeologische Raumgliederung	Nein	Ja	Neun Hydrogeologische Räume	Geologischer Dienst und BGR (HÜK 200)
Chemischer Zustand Grundwasserkörper	Ja	Ja	Gut Schlecht Schlecht & NO_3 steigend	LANUV (2015): Bewirtschaftungsplan 2016-2021
Geohydraulische Durchlässigkeit	Ja	Ja	gering (< $1*10^{-5}$ m/s) mittel (> $1*10^{-5}$ m/s) hoch (> $1*10^{-3}$ m/s)	Geologischer Dienst 2013 (HK 100)
Verweilzeit Deckschichten / Geschütztheit GWK	Ja	Ja	hoch mittel niedrig	Geologischer Dienst und BGR (HÜK 200)
Steigende Nitrat-Trends in WSG	Nein	Ja	Ja Nein	LANUV (GWM-bezogener Trend 2010-2014)
N-Verbleib pro Landkreis	Nein	Ja	hoch (> 100 kg N/ha) erhöht (75-100 kg N/ha) mittel (50-75 kg N/ha) niedrig (< 50 kg N/ha)	Tab. E 3 „Nährstoffbericht“
N-Verbleib pro Landkreis und Landwirtschaftsfläche	Ja	Ja	hoch (> 100 kg N/ha) erhöht (75-100 kg N/ha) mittel (50-75 kg N/ha) niedrig (< 50 kg N/ha)	Tab. E 3 „Nährstoffbericht“ & Daten IT.NRW (LF-Fläche)
Dauergrünland	Nein	Ja	hoch (>50%) mittel (>20%,<50%) niedrig (<20%)	Landwirtschaftszählung 2010: Tabelle „Betriebsfläche, Hauptnutzungs- und Kulturarten sowie Anbau […] nach Verwaltungsbezirken
Biogas	Nein	Ja	erhöht (>0,2 KW/ha LNF) mittel (0,1 – 0,2 KW/ha LNF) gering (<01 KW/ha LNF)	Grundlagendaten LANUV (GIS-Daten, Quelle IT.NRW)
Viehbesatzdichte	Nein	Ja	hoch (> 2 GVE/ha LF) erhöht (1,5 - 2 GVE/ha LF) mittel (1 - 1,5 GVE/ha LF) wenig (< 1 GVE/ha LF)	Grundlagendaten LANUV (GIS-Daten, Quelle IT.NRW)
Sonderkulturen	Ja	Ja	hoch (>20%) mittel (10% - 20%) gering (5% - 10%) sehr gering (<5%)	Landwirtschaftszählung 2010: Tabelle „Betriebsfläche, Hauptnutzungs- und Kulturarten sowie Anbau […] nach Verwaltungsbezirken“
Hackfrüchte	Nein	Ja	hoch (>25%) mittel (10 - 25%) niedrig (<10%)	Landwirtschaftszählung 2010: Tabelle „Betriebsfläche, Hauptnutzungs- und Kulturarten sowie Anbau […] nach Verwaltungsbezirken
Sonstige Flächen:	Ja Ausschlusskriterium	Neina	hoch (>15%) gering (<15%)	Landwirtschaftszählung 2010: Tabelle „Betriebsfläche, Hauptnutzungs- und Kulturarten sowie Anbau […] nach Verwaltungsbezirken

Anschließend wurde für jedes WSG durch GIS-Verschnitt zu den in Tab. 1 aufgeführten Kriterien ermittelt, innerhalb welcher Ausprägungen des Kriteriums sich die überwiegende Fläche des WSG befindet. Befindet sich ein WSG zu mehr als 75% seiner Fläche oder ausschließlich innerhalb einer

einheitlichen Ausprägung (z. B.: „guter Zustand“ beim Kriterium „chemischer Zustand des Grundwasserkörpers“) so wurde die entsprechende Zuordnung vorgenommen. Lag weniger als 75% der Fläche in einer Ausprägungsklasse und zugleich mehr als 25% in einer anderen, so wurden beide Zuordnungen in der Reihenfolge des größeren Flächenanteils attribuiert („gut, schlecht“ bedeutet also z. B. 60% der Fläche eines WSG in einem Körper in einem guten und 40% in einem Körper im schlechten Zustand). Flächen-anteile < 25% wurden nicht berücksichtigt, mehr als zwei Ausprägungsklassen wurden nicht aufgenommen, um das Ergebnis übersichtlich zu gestalten.

Insgesamt wurden für die orientierende GIS-Analyse 16 Kriterien anhand der vom LANUV übermittelten Daten selektiert. Nicht alle dieser 16 Kriterien wurden als direktes Selektionskriterium verwendet (s. Erläuterungen unten und Tabelle 1).

Nach der o. g. Methode wurden die Ausprägungen der Attribute für alle WSG ermittelt und deskriptiv in die vorläufige Auswahl einbezogen.

Als fachliche Erläuterungen zu einigen der in Tabelle 1 aufgeführten Auswahlkriterien für vorab ausgewählte 28 Gebiete seien genannt:

- Größe: Flächengröße des WSG in km² - dieses Kriterium wurde nicht als direktes Selektionskriterium für die Auswahl der 28 WSG verwendet, es wurde jedoch darauf geachtet, dass sowohl kleinere als auch größere Flächen in der Auswahl verblieben. Die Spannweite bei den 28 WSG reicht von 7 bis 125 km², der Mittelwert liegt bei 19 km² (1.900 ha).
- Zustand Grundwasserkörper (GWK): die vom LANUV vorgenommene Bewertung der GWK wurde in ihrer in Tab. 1 aufgeführten dreifachen Ausprägung übernommen. WSG in GWK im überwiegend oder ausschließlich guten Zustand wurden mit einer Ausnahme (WSG Zündorf) nicht in die Auswahl übernommen, Ausnahmen sind wiederum die drei Talsperren-WSG. 15 der 28 WSG liegen in GWK im schlechten Zustand, in 13 weiteren GWK im schlechten Zustand liegen zudem steigende Nitrat-Trends vor. Damit ist sichergestellt, dass auch das jeweilige Umfeld der selektierten WSG von hohen Nitratbelastungen gekennzeichnet ist.
- geohydraulische Durchlässigkeit: hierfür wurde das Attribut „Durchlässigkeit“ der Bewertung des Geologischen Dienstes (GLD) der Grundwasserkörper (GWK) verwendet, das nach der Hydrogeologischen Karte 1 : 100.000 (HK 100) festgelegt wurde. Es geht zurück auf den geohydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert k_f, der als ein Maß für die wasserwirtschaftliche Ergiebigkeit interpretiert werden kann. Grundwasserleiter (GWL) mit hoher Durchlässigkeit sind ergiebig und von großer wasserwirtschaftlicher Bedeutung. In die Auswahl kamen nur WSG mit einer mindestens mittleren, hohen oder sehr hohen Durchlässigkeit, also k_f-Werten > oder >> 10-5 m/s. Ausnahme sind die drei Talsperren-WSG in Gebieten mit Kluft-GWL und „geringen“ Durchlässigkeiten, die unabhängig von dem Kriterium der Durchlässigkeit aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für die Bewertung von PSM-Einträgen prioritär in die Auswahl aufgenommen wurden.
- Verweilzeiten in Deckschichten / Geschütztheit GWK: dieses Attribut wurde anhand der GLD-Bewertung der Schutzfunktion der Deckschichten nach der HÜK 250 von Deutschland abgeleitet. Es charakterisiert anhand der verwendeten Attribute „Flurabstand des Grundwassers“, „gesamte Feldkapazität der ungesättigten Zone“ und „Grundwasser-Neubildungsrate“ nach dem in Deutschland abgestimmten Verfahren Hölting et al. (1995) die Geschwindigkeiten, mit denen das Sickerwassers von der Landoberfläche her die Grundwasseroberfläche erreicht. Damit ist es für das in der ungesättigten Zone chemische weitgehend reaktionslose Nitrat (Tracer-Funktion) ein gutes Maß für die Geschütztheit der GWL durch die lithologische Ausprägung der überlagernden Deckschichten. Bei sandigen Sedimenten erfolgt der Transport rasch, die Geschütztheit ist niedrig und die Verweilzeiten kurz. Bei lehmig-tonigen Sedimenten ist es umgekehrt. Das Attribut wurde als wichtiges Auswahlkriterium verwendet, da die Verweilzeiten ein wichtiges Maß für die statistische Auswertung der Beschaffenheitsdatendaten unter Berücksichtigung der weiteren Randbedingungen sein werden. Mit Ausnahme der drei Talsperren-WSG wurden nur WSG mit ausschließlich oder überwiegend niedrigen Geschütztheiten bzw. Verweilzeiten, also hohen Empfindlichkeiten (Vulnerabilitäten) des Grundwassers aufgrund sandigen Deckschichten und/oder geringen Flurabständen und/oder hohen Neubildungsraten ausgewählt, also 28 Gebiete.

- Steigender Nitrat-Trend: das sind die vom LANUV übersandten Daten zu Messstellen mit steigenden bzw. fallenden Trends in WSG (2000 bis 2014), die den WSG von uns zugeordnet wurden. Auch dieses Kriterium wurde nicht direkt verwendet, da gerade auch in WSG mit nicht steigenden Trends die Auswirkungen bereits existierender Kooperationen potentiell gut bewertet werden können. Stattdessen wurde auf eine Mischung geachtet: von den 28 vorab selektierten WSG weisen neun steigende und 22 keine (stagnierende) Trends auf.
- Stickstoff-Verbleib in NRW: Zur Darstellung des Belastungsdrucks wurde der Verbleib an organischen Düngern in Nordrhein-Westfalen in den Landkreisen (Nährstoffvergleich, Tab. E 3) auf die landwirtschaftliche Nutzfläche in den Kreisen bezogen und deren Anteile an den WSG berechnet (gewichtete Mittelwerte). Obwohl der Verbleib nicht mit dem Nährstoffüberschuss gleichgesetzt werden kann, da Angaben zur Abfuhr durch Feldfrüchte und Informationen zu den eingesetzten mineralischen Düngern nicht in die Daten eingehen, ist die Angabe des Verbleibs im Landkreis für den Belastungsdruck durch Nährstoffe aussagekräftig. Die einbezogenen organischen Dünger weisen alle einen erhöhten Wassergehalt aus, was seinen Transport unwirtschaftlich macht und davon ausgegangen werden kann, dass die organischen Dünger tendenziell im Landkreis verbleiben. Die Daten wurden in vier Klassen eingeteilt und repräsentieren niedrigen (< 50 kg N/ha), mittleren (50-75 kg N/ha), erhöhten (75-100 kg N/ha) und hohen (> 100 kg N/ha) Verbleib an organischen Düngern. Es wurden – mit zwei Ausnahmen – nur WSG mit hohem und erhöhtem Verbleib in die Auswahl aufgenommen.
- Viehbesatzdichte: Die Herkunft des größten Anteils der anfallenden organischen Dünger ist die Viehhaltung. Neben dem Verbleib der organischen Dünger wurde bei der Auswahl der WSG darauf geachtet, dass weniger bis sehr stark viehhaltende Regionen vertreten sind. Hierbei wurden vier Klassen angenommen: Regionen mit wenig Tierhaltung (< 1 GVE/ha LF), Regionen mit mittlerer Tierhaltung (zwischen 1 und 1,5 GVE/ha LF), Regionen mit starker Tierhaltung, die über dem Bundesdurchschnitt liegt (zwischen 1,5 und 2 GVE/ha LF) sowie sehr stark tierhaltende Regionen (> 2 GVE/ha LF).
- Elektrisch installierte Leistung in Biogasanlagen („Biogas“): Obwohl Gärreste bereits beim N-Verbleib in die Auswahl einbezogen sind, wurde bei der Auswahl der Gebiete einbezogen, wie die elektrisch installierte Leistung in Biogasanlagen auf die Landkreise und als gewichteter Mittelwert schlussendlich auf die WSG verteilt sind. Hierbei wird deutlich, dass nicht zwangsläufig die Regionen die höchste Biogasdichte haben, die auch die höchsten Werte des Viehbesatzes erzielen. Wir schließen daraus, dass diese Gebiete einen erhöhten Anteil an Silomaisanbau haben, welches wiederrum eine das Grundwasser gefährdende Landmanagementpraxis ist. Das Kriterium wurde in drei Klassen (nach der installierten Leistung pro Fläche, also Kilowatt pro ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, LNF) dargestellt, mit den Werten „gering“ (< 0,1 KW/ha LNF), „mittel“ (zwischen 0,1 und 0,2 KW/ha LNF) und „erhöht“ (> 0,2 KW/ha LNF). Die installierte Leistung in Biogasanlagen ging als Repräsentanzkriterium in die Auswahl ein.
- Anteil Dauergrünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche („Dauergrünland“): Die Informationen zu Dauergrünland wurden aus der Landwirtschaftszählung 2010 entnommen. Die prozentualen Anteile der Landnutzung der Gemeinden sowie die Flächenaufteilung der Gemeinden auf die WSG (gewichtete Mittelwerte) wurde den Daten zu Grunde gelegt. Es wurde sichergestellt, dass WSG mit höheren Werten (um 50% und mehr) vertreten sind, um Vergleich mit WSG mit weniger Dauergrünland zu ermöglichen. Da die Umwandlung von Acker- in Dauergrünland zu den Maßnahmen der Wasserschutzkooperationen gehören, ist es sinnvoll, auch WSG in die Auswahl aufzunehmen, deren gewichtete Mittelwerte auf einen hohen Anteil von Dauergrünland hindeuten, um diese Maßnahmen der Produktionsänderung auf ihre Effizienz untersuchen zu können. Die Daten wurden in drei Klassen geteilt und repräsentieren hohe (>50%), mittlere (zwischen 20 und 50%) und niedrige (<20%) Grünlandanteile.

Abbildung 3: Vorläufig ausgewählte 28 Gebiete innerhalb der regionalen Verteilung der Großvieheinheiten in NRW

- Anteil der Sonderkulturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche („Sonderkulturen“): Der Anteil der Sonderkulturen wurde als gewichteter Mittelwert je WSG klassifiziert. Sonderkulturen zeichnen sich durch einen erhöhten Düngebedarf aus. Vor allem aber finden in Sonderkulturen erhöhte Gaben von PSM statt. Diese problematische Nutzung könnte daher auf Funde im Grundwasser schließen. Es wurden bevorzugt WSG ausgewählt, deren flächenbezogen gewichteter Mittelwert vergleichsweise hoch anfällt (mit den Werten „mittel“ = höher als 10% und „hoch“ = höher als 20% Flächenanteile Sonderkulturen).
- Anteil Hackfrüchte an landwirtschaftlichen Nutzfläche („Hackfrüchte“): Die Daten zum Anteil der Hackfrüchte auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen zeigen bei der Hauptkultur, dass der Anteil des verbleibenden N_{min} im Herbst im Vergleich mit anderen Kulturen hoch ist. Daher ist bei erhöhtem Flächenanteil von einem erhöhten Stickstoffauswaschungsrisiko auszugehen. Der Anteil der Hackfrüchte an der landwirtschaftlichen Nutzfläche wurde in drei Klassen dargestellt. Er repräsentiert hohe (>25%), mittlere (zwischen 10 und 25%) und niedrige (<10%) Anteile von Hackfrüchten an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Es wurde auf eine ausgewogene Verteilung der drei Klassen in der Gebietsauswahl geachtet.
- Sonstige Flächen: Flächen, die keine landwirtschaftliche Nutzung aufweisen, bilden dauerhaft nicht mehr genutzte landwirtschaftliche Fläche, Waldflächen und sog. „Kurzumtriebsplantagen“, Gebäude- und Hofflächen sowie andere Flächen ab. Bei einem flächengewichteten Wert von über 15% der Fläche in wurde das WSG nicht in die Auswahl aufgenommen, da andere Faktoren die Wirkung der landwirtschaftlichen Aktivität überlagern könnten.

4.3 Finale Gebietsauswahl zur Durchführung der Studie

Im Ergebnis der Anwendung der o.g. Kriterien und der Berücksichtigung der Absagen von zwei WVU (mit drei USG) bereits im Dialogprozess wurden zunächst in Frage kommende WVU hinsichtlich ihrer zunächst grundsätzlichen Bereitschaft zur Mitarbeit an den Untersuchungen kontaktiert. Bestand diese Bereitschaft, wurden den Unternehmen die Ziele der Studie, aber auch die Anforderungen an die zur Verfügung zu stellenden Daten ausführlich erläutert. Diesem Arbeitsschritt wurde aufgrund seiner großen Bedeutung die notwendige Intensität beigemessen.

Nach diesem – sich über mehrere Monate erstreckenden – Klärungsprozess wurden schließlich 20 WSG final ausgewählt, s. Dokumentation in Tabelle 2 und Abbildung 4. In allen dieser WSG liegen langjährige und – nach den Angaben der WVU – erfolgreiche Kooperationen vor, das war ein einvernehmliches Pflichtkriterium.

Sieben der 20 Gebiete nahmen bereits an der Studie IWW (2006) teil. Sie waren nach entsprechender Erläuterung der aktualisierten Projektziele dazu auch erneut bereit.

Hinweise in IWW (2006) zum gebietsbezogen Einfluss von Sümpfungswässern wurden berücksichtigt. Diese Gebiete wurden bewusst nicht in die Auswahl einbezogen, da hier der landwirtschaftliche Einfluss durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen deutlich überprägt wird. Auch stark von Uferfiltration geprägte WSG (z. B. am Rhein oder der Ruhr) wurden aus diesem Grund nicht selektiert.

Mit den 20 Gebieten wurde bewusst eine deutlich größere als die in der Projektskizze der Dialogphase genannte und in der Leistungsbeschreibung präzisierte Mindestanzahl von zehn Gebieten ausgewählt. Aufgrund der in der Projektskizze, den Protokollen der Dialoggespräche und der LB (Kap. II und Kap. III 1a) genannten Kriterien wurde davon ausgegangen, dass die vollständige, stufenlose Bearbeitung von 20 Gebieten aus fachlichen Gründen unerlässlich zur Erreichung der Ziele sei.

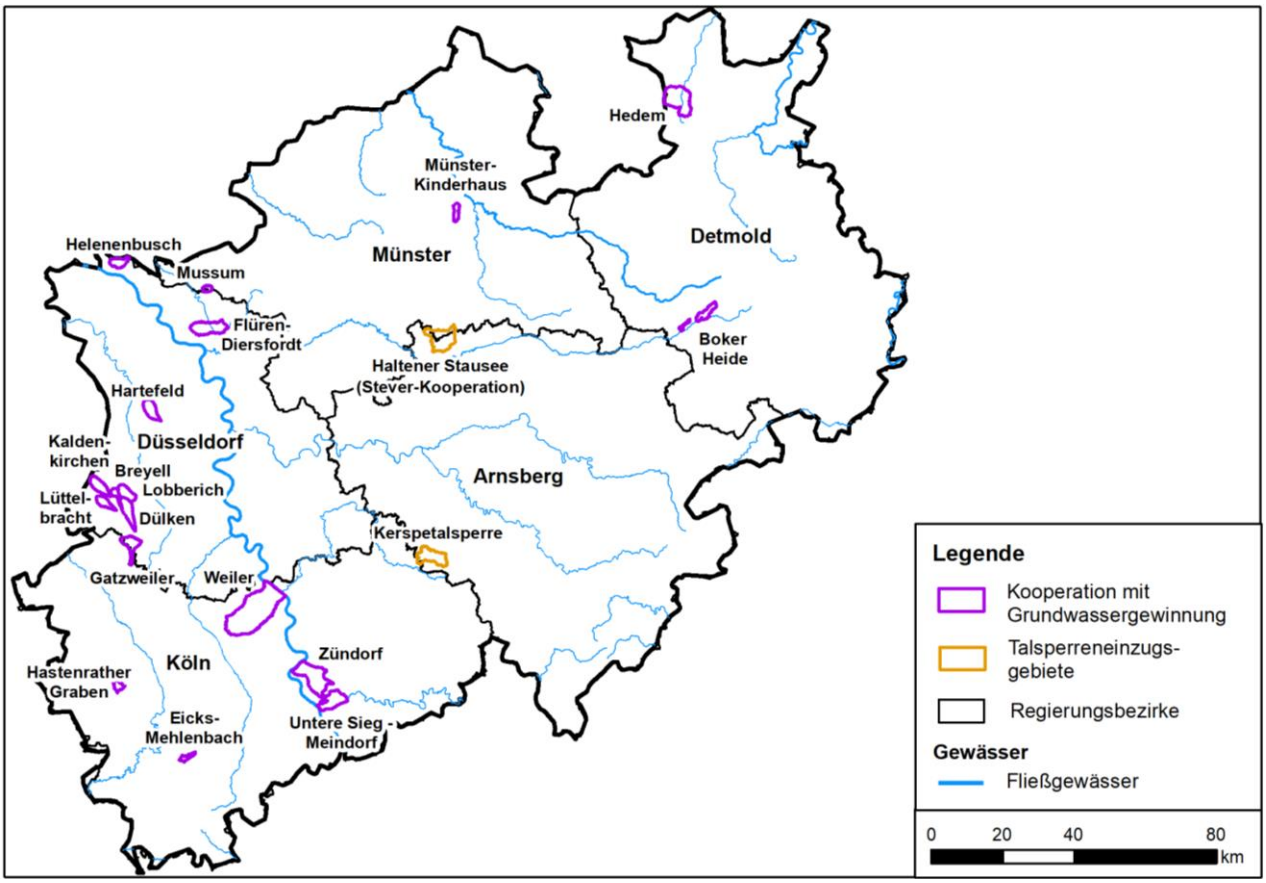


Abbildung 4: Landesweite Übersichtskarte zur flächenhaften Kulisse der 20 bearbeiteten Trinkwasserschutzgebiete von 17 Wasserversorgungsunternehmen in 18 Kooperationen

Im Protokoll des Dialoggesprächs vom 11.11.2016 hieß es dazu: „Eine Eingrenzung auf sehr wenige Gebiete erscheint nicht zweckmäßig, wenn die Studie den Anspruch haben soll, den kooperativen Gewässerschutz landesweit zu evaluieren, da es sehr große Unterschiede zwischen den Gebieten gibt“. Dies wurde als uneingeschränkt zutreffend betrachtet. Die Bearbeitung von 20 Gebieten wurde auch aus statistischen Gründen als notwendig zur Erreichung der vorgegebenen Ziele angesehen.

Die 20 Gebiete werden von 17 Wasserversorgungsunternehmen repräsentiert, da drei Unternehmen jeweils zwei Gebiete gleichzeitig betreiben (s. Tabelle 2). Zwei Gebiete (Breyell und Lobberich) der Kommunale Partner GmbH bzw. der Stadtwerke Nettetal grenzen unmittelbar aneinander, so dass sie im Folgenden jeweils zusammen behandelt wurden.

Bei zwei der 20 Gebiete, WSG Weiler und WSG Zündorf, konnten keine wasserbezogenen Aussagen getroffen werden, da keine hinreichenden Daten zur Grund- und Rohwasserbeschaffenheit vorlagen.

In zwei weiteren Gebieten stehen oberirdische Gewässer (Fließgewässer und Stauseen) im Fokus, in allen anderen Gebieten das oberflächennahe Grundwasser sowie das Rohwasser zur Trinkwasser-gewinnung.

Tabelle 2: Kenndaten zu den ausgewählten Kooperationsgebieten (*: bereits in IWW 2006)

Lfd Nr	Bezeichnung wasserschutzgebiet	Name Unternehmen	Umwelt-medium	Größe [ha]	Kooperation seit	Reg.-Bezirk
1	Emmerich-Helenenbusch*	Stadtwerke Emmerich GmbH	GW	1.070	1990	Düsseldorf
2	Mussum*	Bocholter Energie- und Wasserversorgung GmbH	GW	403	1992	Münster
3	Flüren-Diersfordt*	Stadtwerke Wesel GmbH	GW	2.970	1993	Düsseldorf
4	Hartefeld	Stadtwerke Geldern	GW	1.600	1991	Düsseldorf
5	Kaldenkirchen-Grenzwald	Stadtwerke Nettetal	GW	1.550	1995	Düsseldorf
6	Breyell	Kommunale Partner Wasser GmbH	GW	1.468	1996	Düsseldorf
7	Lobberich		GW	1.394	1996	Düsseldorf
8	Lüttelbracht	Gemeindewerk Brüggen GmbH	GW	1.010	1997	Düsseldorf
9	Gatzweiler*	NEW NiederrheinWasser GmbH	GW	1.645	1992	Düsseldorf
10	Dülken / Boisheim*		GW	1.900	1992	Düsseldorf
11	Hastenrather Graben	enwor – energie & wasser vor ort GmbH	GW	602	1993	Köln
12	Eicks-Mehlenbach	Verbandswasserwerk GmbH Euskirchen	GW	455	1996	Köln
13	Weiler*	Rhein Energie AG	Boden	12.532	1986	Köln
14	Zündorf		Boden	4.952	1986	Köln
15	Meindorf (Untere Sieg)	Wahnbachtalsperren-verband	GW	3.070	1989	Köln
16	Münster-Kinderhaus*	Stadtwerke Münster GmbH	GW	652	1991	Münster
17	Hedem	WBV Kreis Herford-West WWK Hedem	GW	4.480	1994	Detmold
18	Boker Heide	Wasserwerk Paderborn GmbH	GW	1.370	1991	Detmold
19	Stever (Funne-TEZG)	Gelsenwasser AG	OW	2.837	1989	Arnsberg
20	Kerspetalsperre	Wupperverband	OW	2.790	1992	Arnsberg

4.4 Datenrecherche relevanter Informationen

4.4.1 Behördliche Daten und Informationen

Für die Gebietskulisse der 20 bearbeiteten Kooperationsgebiete wurden zunächst vom LANUV NRW die für die fachliche Bearbeitung notwendigen Grundlagendaten angefordert und projektbezogen übernommen. Es handelte sich dabei um folgende Datenbestände:

- Lage und Grenzen der Grundwasserkörper mit Daten u. a. zur chemischen Zustandsbewertung, zur Geologie und Hydrogeologie (z. B. Mächtigkeit Grundwasserleiter, Porenanteil) und zur wasserwirtschaftlichen Bedeutung (Ergiebigkeit);
- Lage und Grenzen der Trinkwasserschutz- und Kooperationsgebiete (s. Abbildung 5) mit Zonengliederung der WSG;
- Grundwassermessstellenbezogene (Stamm- und hydrochemische) Daten im Umfeld der WSG;
- Grundwasserneubildungsraten (FZ Jülich 2013).

Zudem wurden vom LANUV NRW Hinweise auf frei verfügbaren Daten (ELWAS, opengeodata.nrw) übergeben. Abbildung 5 zeigt als Beispiel für übernommene Daten die regionale Verteilung der Schutz- und Kooperationsgebiete vor dem Hintergrund der Bewertung der Grundwasserkörper hinsichtlich des chemischen Zustandes Nitrat.

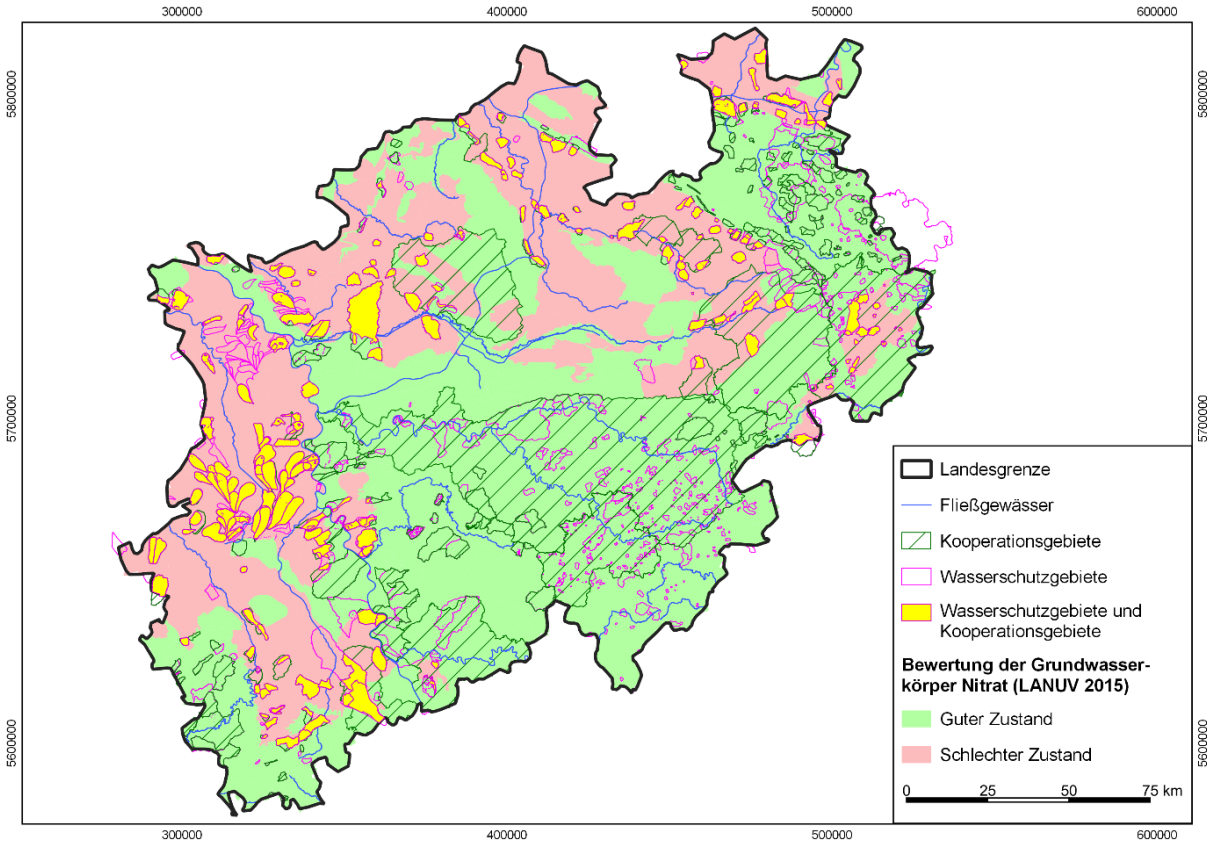


Abbildung 5: Regionale Verteilung der Kooperations- bzw. Trinkwasserschutzgebiete in NRW

4.4.2 Daten und Informationen von Wasserversorgungsunternehmen

Den 17 WVU wurde im Anschluss an die grundsätzlich erklärte Bereitschaft zur Mitarbeit an der Studie eine Zusammenstellung der benötigten Daten und Informationen in Form eines Fragenkataloges übermittelt (s. Tabelle 3). Dieser enthielt sowohl Daten zu Messstellen und hydrochemischen Analysen als auch gewünschte Informationen allgemeiner Art (z. B. hydrogeologische Schutzgebietsgutachten und/oder Überblicksdarstellungen):

Tabelle 3: Übersicht zu den bei den WVU angefragten Datenbeständen zu benötigten wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Informationen

Datenkategorie	Untersetzende Einzelinformation
Stammdaten des Wasserschutzgebietes (WSG) oder Wassereinzugsgebietes (WEG)	Name des WVU und WSG; GIS-Daten zu Lage von WSG und Wasserschutzzonen (WSZ) bzw. WEG; Regionale Arbeitsgemeinschaft (RAG)
Daten zu Förderbrunnen und Vorfeldmessstellen im Wasserschutzgebiet	Name der Wassergewinnungsanlage (WGA); Anzahl der Brunnen; Lage, Art, Teufe und Verfilterung; Förderleistung in m³/a, Herkunft des Wassers (Gw, angereichertes Gw etc.), geologische Schichtenverzeichnisse und Ausbaudaten (wichtig zur hydrogeologischen Einordnung der Beschaffenheitsdaten), Mächtigkeit des GWL, mittlerer Flurabstand, kf-Wert, Schutzzonengutachten (sofern vorhanden); HÜK 200 des GLD Details (Koordinaten, Name, Art (einfach verfiltert, Multilevel etc.), Teufe und Verfilterung, Stände) von Vorfeld- und Grundwassermessstellen Messstellen sollten mindestens mit Ausbauplan (digital) vorliegen (ggf. Schichtenverzeichnis)
Trink-, Grund- und Rohwasseranalysen von Betriebsbrunnen (auch Mischwasserproben und Vorfeldmessstellen	Nitrat, PSM und „nicht relevante Metaboliten“, Kalium, Phosphat, Kalzium, Magnesium, Eisen, Mangan, Natrium, Chlorid, Sulfat, pH-Wert, Redoxpotenzial, Wassertemperatur, Sauer-stoff, Leitfähigkeit, Säurekapazität, gelöster org. Kohlenstoff , Ammonium, Hydrogencarbonat, Fluorid, Nitrit, ortho-Phosphat, Gesamtphosphat, Arsen, Aluminium, Nickel, Cadmium, Uran
Weitere Informationen allgemeiner Art	Situation der Wassergewinnung, Art der Trinkwasseraufbereitung, Daten zu Grundwassergleichenplänen, Besonderheiten zum Betrieb der Förderanlagen, Wurden Brunnen im Betrachtungszeitraum (ab 2003) aufgrund von Nitrat- oder PSM-Belastungen außer Betrieb genommen? Wird verstärkt Rohwasser aus tieferen Stockwerken gewonnen? Erhöhte sich der Aufwand für die Trinkwasseraufbereitung ab 2003 und in welchem finanziellen Umfang? Muss Rohwasser unterschiedlicher Herkunft gemischt werden? Fließzeiten (Wirkzeiten von Maßnahmen), durchgeführte Untersuchungen / Gutachten, z. B. zur Entwicklung des Denitrifikationspotenzials

Der Rücklauf der Daten und Informationen erstreckte sich ebenfalls über einen mehrmonatigen Zeitraum und gestaltete sich hinsichtlich Struktur und Qualität der Daten sehr heterogen. In manchen Fällen wurden die Daten von fachlich beauftragten Ingenieurbüros der WVU mit dann zumeist einer sehr guten Qualität übermittelt. In manchen Fällen wurden jedoch auch nur gescannte Dokumente (z. B. von Laborberichten) übermittelt, so dass eine Digitalisierung der Einzeldaten noch vorgenommen werden musste.

Begleitend zu der Datenrecherche und -übermittlung erfolgten bei den WVU im Einzelfall auch begleitende, persönliche Gespräche, welche zumeist entscheidend zur Bereitschaft der aktiven Mitarbeit beitrugen. Nur bei der Rheinenergie AG konnten solche wiederholten Gespräche die Bedenken des Unternehmens und der an der Kooperation beteiligten Landwirte nicht ausräumen, so dass letztlich aus Datenschutzgründen auf eine Lieferung der wasserwirtschaftlichen Daten in der für die Studie notwendigen Differenzierung verzichtet werden musste.

4.5 Kurzcharakterisierung der Kooperationen

Im Folgenden werden die ausgewählten Kooperations- bzw. Wasserschutzgebiete:

1. hinsichtlich der Hauptmerkmale ihrer Kooperationsarbeit kurz dargestellt, welche die Basis für die Interpretation der Kooperationsergebnisse bilden, wie sie in Kapitel 7 ermittelt und in Kapitel 8 zusammengefasst werden.
2. jeweils kurz hinsichtlich ihres wasserwirtschaftlichen Anlagenbestandes auf Basis der überlieferten Daten sowie der - zumeist unveröffentlichten - Dokumenten (z. B. Wasserschutzgebietsgutachten) beschrieben. Dies soll dem besseren Verständnis der aus den ausgewerteten Daten gezogenen Interpretationen dienen.

Zuerst werden die Kooperationen mit Grundwassergewinnung (Kapitel 4.5.1 bis 4.5.16) beschrieben. Anschließend werden die zwei in der Studie teilnehmenden Kooperationen in Talsperrengebieten (Kapitel 4.5.18 und 4.5.17) dargestellt.

Nicht beschrieben wird der wasserwirtschaftlicher Anlagenbestand der beiden Kooperationsgebiete der RheinEnergie AG bei Köln (Weiler und Zündorf), da zu diesen - aus von der RheinEnergie benannten Datenschutzgründen - keine hinreichenden wasserwirtschaftlichen und hydrochemischen Daten von der RheinEnergie AG übergeben wurden, so dass die beiden Gebiete nur mit sehr rudimentären Analysen in die Studie einbezogen werden konnten.

In Abbildung 6 sind die Anteile der Landnutzungskategorien auf Grundlage der im Basis DLM (AdV 2008) des BKG verfügbaren Differenzierung aufgeführt. Die Kooperationsgebiete weisen in der Regel Anteile landwirtschaftlicher Flächen von > 50% auf. Vereinzelt besitzen die Gebiete jedoch auch erhöhte Flächenanteile siedlungsgeprägter Flächen, z. B. WSG Meindorf, Kinderhaus, Weiler und Zündorf.

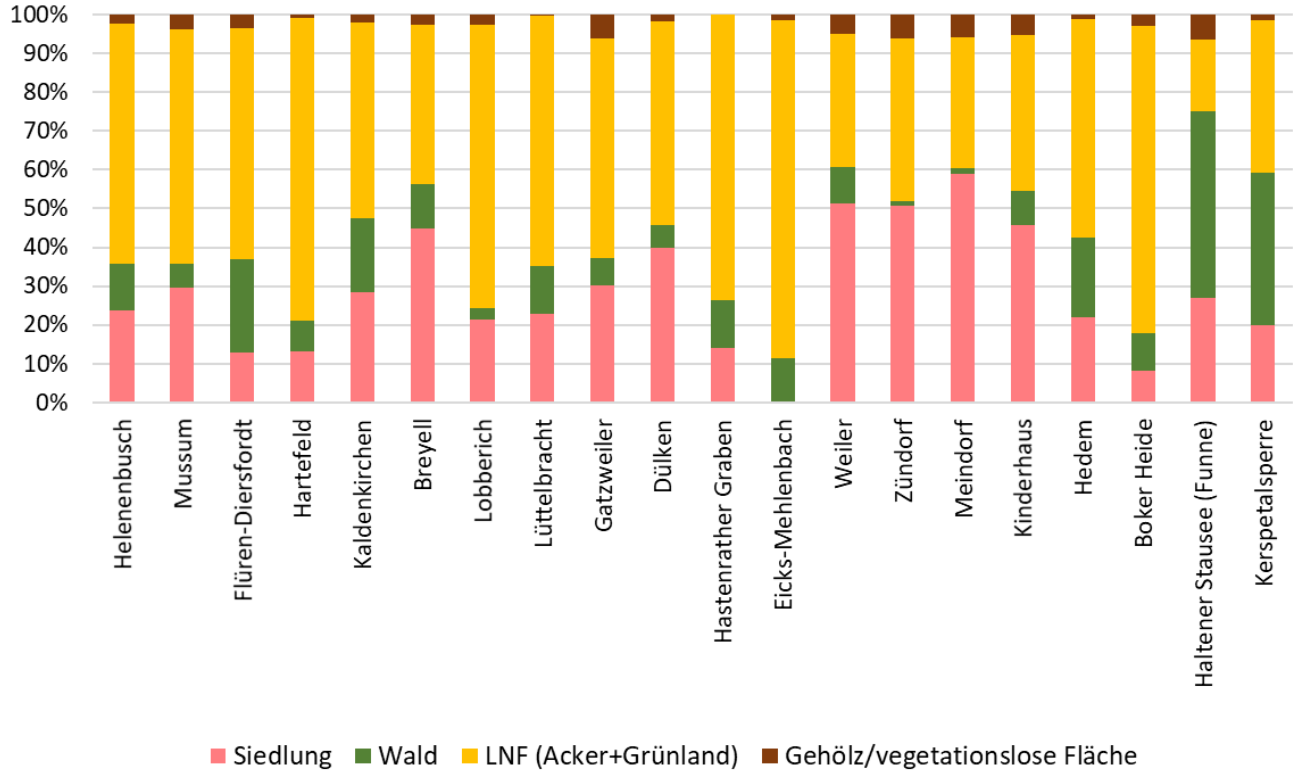


Abbildung 6: Anteile verschiedener Landnutzungstypen in den Kooperationsgebieten

4.5.1 Emmerich-Helenenbusch

4.5.1.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Emmerich-Helenenbusch liegt nördlich der Stadt Emmerich, rechtsrheinisch und im Norden des Kreis Kleve. Das Gesamtgebiet beträgt 10,6 km^2. Im WSG gibt es zwei Formen der Kooperationsarbeit: einerseits ein Gebiet mit Prämienmodell („Extensivierungsgebiet“, 106 ha, Ausgleichszahlung nach erreichtem Herbst-N_{min}-Wert), das kreisförmig um die Produktionsbrunnen liegt, andererseits die Kooperationsarbeit in den restlichen landwirtschaftlichen Flächen im WSG (506 ha), in denen ein Ausgleich für die Umsetzung einzelner Maßnahmen durchgeführt wird. In beiden Gebieten werden die gleichen Beratungsleistungen angeboten.

Im Gebiet mit Prämienmodell erhalten alle Ackerbauflächen mit einem Herbst-N_{min}-Wert unter einem derzeitigen Grenzwert von 50 kg N-NO_3^-/ha eine Prämie von 380 €/ha. Zu den Auflagen zählen:

1. Eine kulturspezifische, reduzierte N-Düngung
2. Pflicht zur Winterbegrünung (soweit in der Fruchtfolge möglich)

Darüber hinaus gibt es nichtbindende Empfehlungen der Beratung an die Landwirte, wie z. B. der Verzicht auf eine Bodenbearbeitung nach der Maisernte bis zum jeweiligen Frühjahr. Einen weiteren Anreiz für Landwirte bildet eine „Zusatzprämie“ für besonders niedrige Werte. Grünlandflächen, die unter den Herbst-N_{min}-Grenzwert kommen, werden auf der gleichen Basis als die Ackerbauflächen vergütet – die ausgezahlte Prämie liegt mit 320 €/ha leicht unter der Prämie für Ackerbauflächen.

Im restlichen WSG werden die Flächenmaßnahmen „Förderung des Zwischenfruchtanbaus“, „Mulchsaat von Zuckerrüben und Mais“ und „Gülleausbringung mit bodennaher Technik“ gefördert.

4.5.1.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das Wasserwerk Helenenbusch der Stadtwerke (SW) Emmerich GmbH hat im Wasserwirtschaftsjahr 2015 1,76 Mio. m³, d. h. 80% der bewilligten Gesamtentnahmemenge von 2,2 Mio. m³/Jahr, gefördert (SW Emmerich 2016). Die Karte in Abbildung 7 dokumentiert die durch den Normalbetrieb induzierte Grundwasserabsenkung in den hydraulisch ergiebigen Sedimenten (zumeist Mittel- und Grobsande sowie Feinkiese) des oberflächennahen Grundwasserleiters.

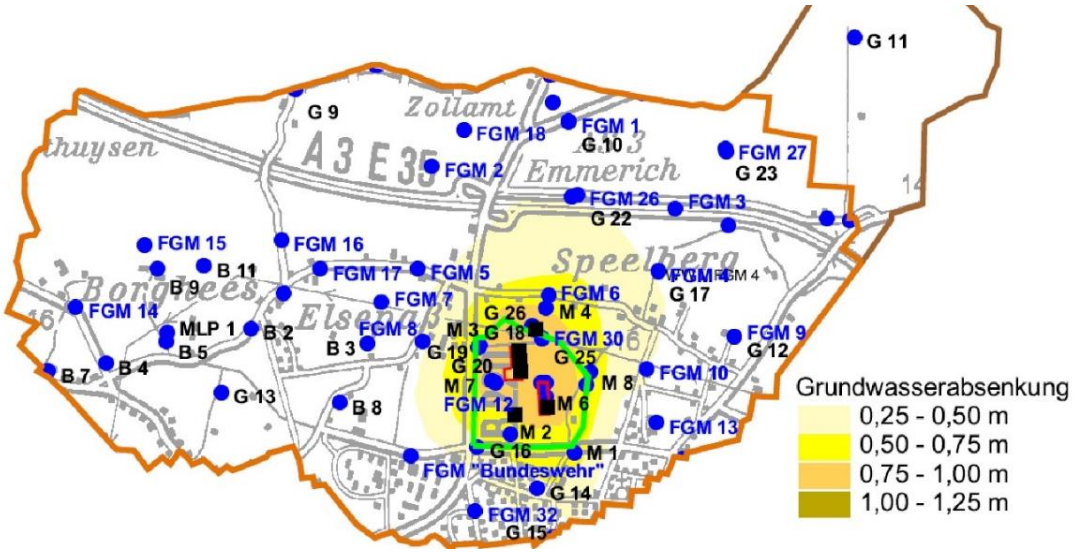


Abbildung 7: Übersichtskarte zur Lage der Vorfeldmessstellen und zur Grundwasserabsenkung im WSG Helenenbusch

Die hydraulischen Rahmenbedingungen zeichnen sich durch geringe Flurabstände von etwa 2 bis 5 m und eine nach Süden bzw. Südwesten zum Rhein gerichtete Hauptfließrichtung des Grundwassers. Die Sickerwasserverweilzeiten konnten für 13 Messstellen berechnet werden. In sechs Fällen liegen die Messstellen im sog. „Zehrgebiet“, d. h. für lange Betrachtungszeiträume ist die Grundwas-

serneubildung negativ und es findet praktisch keine Versickerung statt. Die übrigen Verweilzeiten liegen überwiegend unter fünf Jahren, vereinzelt bei 5 bis 10 Jahren oder bei >20 Jahren (s. Anhang 10.2.1). Die Brunnen des Wasserschutzgebietes Helenenbusch sind in verschiedenen Teufen zwischen etwa 4 und 30 m verfiltert. Das Gebiet zeichnet sich durch ein Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell und ein Maßnahmengebiet aus. Die Flächen des Extensivierungsgebietes liegen südlich der Autobahn A3 und sind um den Absenktrichter der Brunnen angeordnet.

4.5.2 Mussum

4.5.2.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Mussum liegt südwestlich angrenzend an Bocholt, rechtsrheinisch, wenige Kilometer vom Rhein entfernt. Die Grenze zwischen den Landkreisen Wesel und Borken verläuft durch das WSG.

Auch in Mussum werden zwei Formen der Kooperationsarbeit angewandt. Neben einem Basisberatungsgebiet gibt es ebenso ein Gebiet nach Prämienmodell („Intensivberatungsgebiet“), in dem Ausgleichszahlungen nach dem erreichten Herbst-N_{min}-Wert gezahlt werden. Alle Kooperationslandwirte erhalten für die Einhaltung eines gewissen Kriterienkatalogs einen festen Betrag, der eine Art Basisausgleichszahlung bildet. Die Kriterien dieses Katalogs zielen vorwiegend auf eine verbesserte Düngung ab.

Im Prämiengebiet müssen gewisse Auflagen eingehalten werden, u. a. eine Düngeplanung, N-Bedarfsermittlung, schlagbezogene N-Bilanzierung, ausreichende Lagerkapazität. Bei einem Wert (flächengewichteter Mittelwert) unter dem Grenzwert (derzeit 40 kg N/ha) über aller im Prämiengebiet liegenden landwirtschaftlichen Flächen eines Betriebes wird eine Prämie von 150 €/ha ausgezahlt. Für Sonderkulturen wurde der Wert etwas höher angesetzt. Ebenso bei Kartoffeln, die jedoch einen eigenen Grenzwert haben. Im Prämiengebiet sind Beratungen im Bereich einer optimierten Wirtschaftsdüngerverwertung besonders intensiv, z. B. werden diesbezüglich mit allen Landwirten Gespräche geführt.

Im restlichen WSG (Basisberatungsgebiet) werden die Landwirte für die Einhaltung der Kriterien des Kataloges gefördert (s.o.) und es finden Förderungen von Zwischenfruchtanbau statt (20 €/ha). Die Beratung ist weniger intensiv als im Prämiengebiet.

4.5.2.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Zur Trinkwasserversorgung der Stadt Bocholt betreibt die Bocholter Energie- und Wasserversorgung GmbH (BEW) u. a. die Wassergewinnungsanlage Mussum. Sie besteht bereits seit 1913. Die Grundwassergewinnung erfolgt aus quartären Sanden und Kiesen am Ostrand der Niederrheinischen Bucht (Denzig 2006). Es handelt sich um sieben Betriebsbrunnen, die über eine Hebergalerie miteinander verbunden sind, Abbildung 8 zeigt deren Lage und unterirdische Einzugsgebiete zusammen mit Vorfeldmessstellen.

Im Lauf der Betriebsjahre sind die Konzentrationen u. a. von Nitrat in Mussum angestiegen, Abbildung 9 dokumentiert das grafisch im Vergleich mit drei weiteren Gewinnungsanlagen der BEW in der Region. In den 1970er-Jahren lagen die Konzentrationen mit mehr als 100 mg/l am höchsten. Seit 1985 wurde das Einzugsgebiet der Wasserfassung Mussum mit hohem finanziellen Aufwand saniert. Flächenaufkauf, Extensivierungsprogramme und die Einrichtung von Kooperationsmaßnahmen mit der Landwirtschaft zur gewässerschonenden Bewirtschaftung ließen die Nitratwerte dadurch signifikant sinken (Denzig 2006, s. Abbildung 9). Aktuell (Jahresmittelwert 2017 des Rohmischwassers) liegen sie noch bei etwas unterhalb von 50 mg/l (Daten BEW).

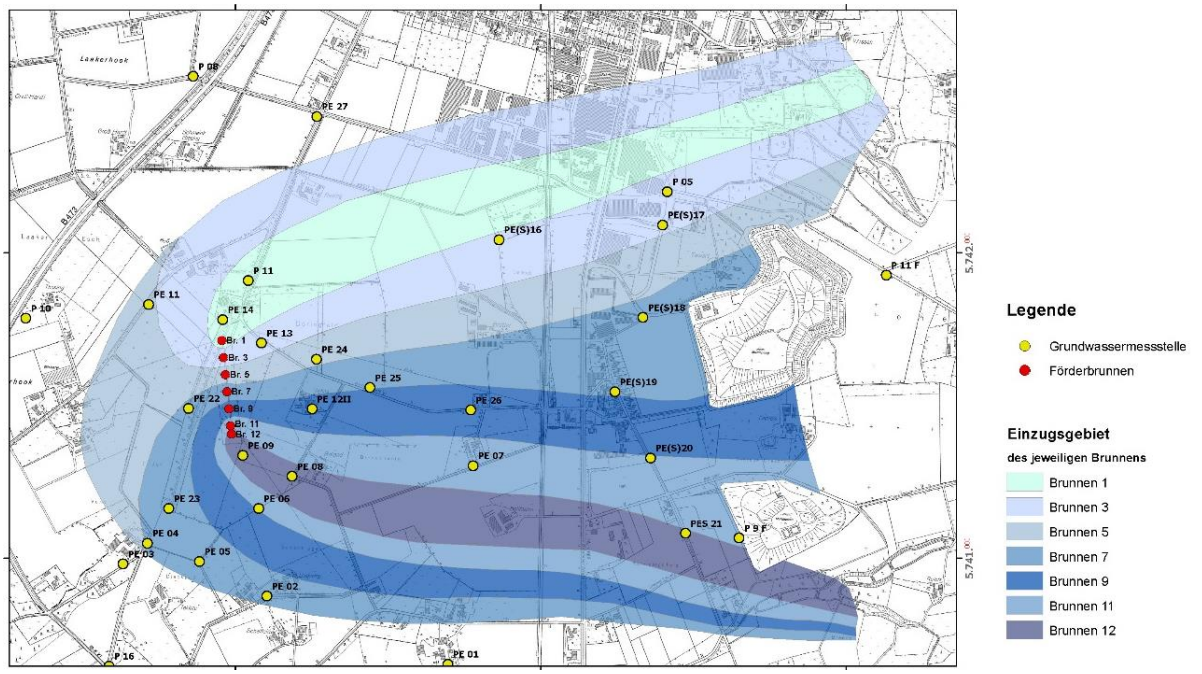


Abbildung 8: Einzugsgebiete der sieben Betriebsbrunnen und Lage der Grundwassermessstellen im WSG Mussum

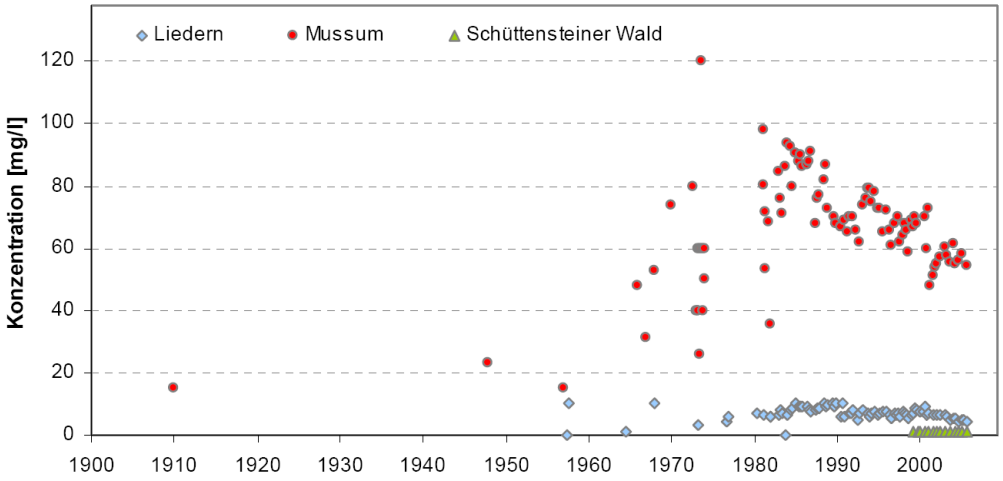


Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Rohwasser von drei Wassergewinnungsanlagen der BEW

4.5.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp

4.5.3.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Flüren-Diersfordt (auch Flüren-Diersfordt-Blumenkamp genannt) liegt direkt nördlich der Hansestadt Wesel im Kreis Wesel, rechtsrheinisch und wenige Kilometer vom Rhein entfernt.

Die Kooperation im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp existiert seit 1993 und hat bereits diverse Phasen durchlaufen. Von 2007 bis 2012 wurden im gesamten Gebiet Flächenmaßnahmen gefördert, die den Zwischenfruchtanbau, die Extensivierung von Grünland und die Erweiterung der Güllelagerkapazität sowie Düngeuntersuchungen umfassten. Seit 2013 gibt es im WSG zwei Formen der Kooperationsarbeit: zum einen nach Prämienmodell und zum anderen Kooperationsarbeit mit Beratung und Förderung einzelner Maßnahmen.

Im Prämiengebiet wird die Höchstprämie, derzeit von 300 €/ha für Flächen mit einem Herbst-N_{min}-Wert unter 35 kg/ha ausgezahlt. Bei Flächen mit Werten zwischen 35 und 50 kg N/ha wird die Hälfte davon ausgezahlt (150 €/ha); noch einmal halbiert (auf 75 €/ha) wird der Betrag für Flächen mit einem Wert zwischen 50 und 75 kg N/ha. Es gelten dafür u.a. folgende Auflagen:

1. Bei Zwischenfrüchten sollen winterharte Arten bestellt und nicht vor dem 01.03. umgebrochen werden (Ausnahmen in Absprache mit dem Berater möglich).
2. Sonderregelungen zur Düngung.

Im restlichen WSG wird als einzige Flächenmaßnahme der Zwischenfruchtanbau gefördert. Der Umfang dieser Maßnahme ist bei ca. 110 ha/Jahr überschaubar. Die Kooperationsarbeit im restlichen WSG liegt im Wesentlichen in der Beratungstätigkeit.

4.5.3.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das WSG besteht aus zwei Gewinnungsanlagen, Flüren und Blumenkamp. Eine Übersicht zum WSG der Stadtwerke Wesel GmbH zeigt Abbildung 10. Die Grundwasserfließrichtung ist im östlichen Teil nach Westen gerichtet und neigt in dieser Richtung zunehmend Südwesten. Der Grundwasserleiter ist sandig-kiesig aufgebaut und besitzt eine Mächtigkeit von ca. 20 – 25 m. Oberflächennah stehen Hochflutsande und -lehme sowie Flug- und Dünensande an. Die Hochflutlehme fungieren als geringdurchlässige Schichten und sind vor allem im Bereich der Brunnenanlagen der Gewinnungsanlage Flüren mit Mächtigkeiten bis 2 m verbreitet. Lokal unterlagern sie die Flug- und Dünensande, wodurch schwebende Grundwasserstockwerke entstehen (Bieske 2013a). Die Flurabstände nehmen von <1 m östlich der Issel auf 7 m im westlichen Teil zu. Lokal können die Flurabstände bei >10 m liegen.

Im Jahr 2013 wurde das Prämiengebiet (sog. Kooperationsmaßnahmen zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung) westlich der Wasserscheide eingeführt, die das WSG in eine Ost- und Westhälfte teilt. Es umfasst ca. 500 – 550 ha. Seitdem wird im übrigen Teil des Kooperationsgebietes, überwiegend östlich der Wasserscheide, landwirtschaftliche Beratung und die Förderung von Zwischenfrüchten) durchgeführt.

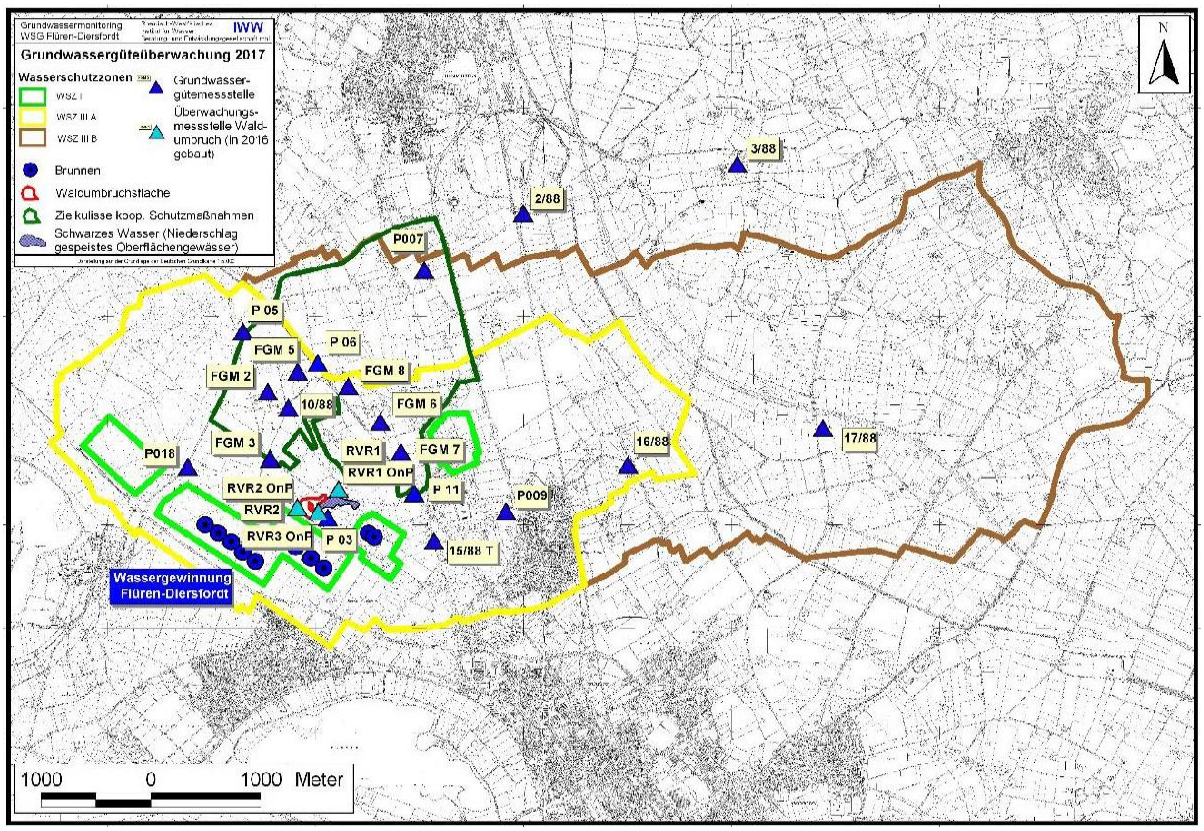


Abbildung 10: Übersicht zum Grundwassermessnetz im Gebiet Flüren-Diersfordt

4.5.4 Hartefeld

4.5.4.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Hartefeld liegt im unteren Niederrheingebiet, südöstlich der Stadt Geldern. Das Gebiet ist 15,9 km^2 groß. Es ist unterteilt in ein Prämiengebiet und ein Beratungsgebiet.

Im Gebiet mit Prämienmodell werden Ausgleichszahlungen getätigt, wenn festgelegte Herbst-N_{min}-Grenzwerte unterschritten werden. Von 2013 bis 2017 betrugen die Zahlungen:

- bei 55-70 kg N/ha = 130 €/ha für Ackerbauflächen bzw. 110 €/ha für Grünlandflächen
- bei <55 kg N/ha = 380 €/ha für Ackerbauflächen bzw. 320 €/ha für Grünlandflächen
- bei <30 kg N/ha = 480 €/ha für Ackerbauflächen bzw. 420 €/ha für Grünlandflächen (obige Prämie + Zusatzprämie von 100 €/ha).

Mit Auszahlung einer Prämie sind zusätzliche Auflagen verbunden, unter anderem:

- Eine kulturspezifische reduzierte N-Düngung (ca. 40%), die mit moderner Technik durchgeführt werden muss.
- Besatzstärke von maximal 3 GV/ha mit Ende der Weidezeit Ende Oktober.
- Anrechnung des Gesamt-N-Gehaltes bei Gülle.
- Winterbegrünung.

Kontrolliert wird die Umsetzung der Auflagen über 3-jährliche Bodenuntersuchungen sowie Überprüfungen von Schlagkarteien. Herbst-N_{min}-Werte werden auf jedem Schlag beprobt und fließen mit in die Beratung ein.

Auch im Beratungsgebiet werden auf allen landwirtschaftlichen Flächen Herbst-N_{min}-Beprobungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Beprobungen sind dann wiederum Teil der Gewässerschutzberatung. Neben den Gewässerschutzberatungen werden auch der Tausch von Gülle unter Kooperationslandwirten (Güllemanagement) unterstützt. Darüber hinaus werden innerhalb dieser Kooperation monatliche N_{min}-Proben auf 10 bis 12 Kooperationsflächen finanziert.

4.5.4.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das Wasserwerk Hartefeld der Stadtwerke Geldern fördert durchschnittlich (Mittelwert der Jahresfördermengen 2003 bis 2016) 2.58 Mio. m^3 Grundwasser pro Jahr bzw. 7.060 m^3/d aus dem oberen, unbedeckten Grundwasserleiter. Es handelt sich zumeist um grobklastische sandig bis kiesige Sedimente mit einer sehr guten wasserwirtschaftlichen Ergiebigkeit.

Das Kooperationsgebiet umfasst die Wasserschutzzone IIIb und zeichnet sich durch eine sehr gute Datenlage aus. Insgesamt eignen sich 60 Grundwassermessstellen und Brunnen (inkl. LANUV-Messstellen als Referenz) zur hydrochemischen Untersuchung im Kooperationsgebiet. Für jede GWM stehen jährliche Daten für Nitrat und Sulfat meist für den Zeitraum von 2003 bis 2016 zur Verfügung. Da die Datenlage auch eine räumliche Trennung von Maßnahmen in ein Gebiet mit Prämienmodell und ein Beratungsgebiet ermöglichte, konnte auch dahingehend die Auswertung differenziert erfolgen. Grundwassermessstellen mit Zustromgebieten ohne eindeutige Gebietszuordnung wurden ebenfalls gekennzeichnet (Zustrom nur partiell im Prämienmodell), um die übrigen Datensätze nicht mit Mischsignalen zu kontaminieren, da sie sich in Randlage zwischen Prämiengebiet und Beratungsgebiet befanden (s. Karte in Anhang 10.2.4). Das Kooperationsgebiet umfasst das gesamte Wasserschutzgebiet, wobei das Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell im nordöstlichen Teil liegt.

Der Grundwasseranstrom erfolgt aus südöstlicher Richtung. Die Sickerwasserverweilzeit beträgt flächendeckend überwiegend weniger als fünf Jahre. Im nordwestlichen Teil der Schutzzone IIIa wurden hingegen lange Verweilzeiten von > 20 Jahre ausgewiesen. Grund dafür sind sehr geringe Grundwasserneubildungsraten, die zu einem geringen Wasseraustausch in der ungesättigten Zone führen. Beispielhaft sind einige Zustromgebiete dargestellt, die die Zuordnung zu Maßnahmen veranschaulichen.

Anhang 10.2.4 zeigt die räumliche Übersicht des Grundwasserfließgeschehens sowie des Kooperationsgebietes mit Angaben zu Maßnahmen und spezifischen Daten der Grundwassermessstellen (Sickerwasserverweilzeit, Nitratmittelwert und Magnitude des Trends).

4.5.5 Kooperation Nettetal - WSG Kaldenkirchen, Breyell und Lobberich

4.5.5.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Die Kooperation Nettetal existiert seit 1997 und umfasst drei Wasserschutzgebiete: Breyell (6,2 km² Gesamtfläche), Lobberich (13,9 km² Gesamtfläche) und Kaldenkirchen (15,5 km² Gesamtfläche, auch Kaldenkirchen-Grenzwald genannt). Die Gebiete liegen im Niederrhein im Kreis Viersen, zwischen Dülken, Lobberich und der niederländischen Grenze. Im Jahr 2014 wurde in allen drei WSG ein Prämienmodell eingeführt, das auf die gesamten Zonen III B ausgedehnt ist.

Es gibt keine Unterteilung in Zonen mit unterschiedlichen Formen der Kooperationsarbeit; alle landwirtschaftliche Flächen nehmen an einem Prämienmodell teil. Bei fast allen Kulturen erhalten Kooperationslandwirte bei Unterschreitung von 60 kg N/ha eine Prämie von 80 €/ha, und bei einem Wert zwischen 60 – 80 kg N/ha 25 €/ha. Wenn keiner dieser Grenzwerte eingehalten wird, erhält der Landwirt immer noch 5 €/ha für seine Teilnahme an der Kooperation. Höhere Prämien werden für Gemüsesorten und Kartoffeln ausgezahlt.

Mit der Auszahlung einer Prämie sind zusätzliche Auflagen verbunden, unter anderem:

- Verpflichtung pflanzenbedarfsgerechter Nährstoffversorgung nach N_{min}-Methode oder N-Bilanzierung.
- Winterbegrünung (nach Ernte ohne Bodenbearbeitung, wie z. B. bei Mais, keine Begrünungspflicht).
- Keine Bodenbearbeitung zwischen 15. Oktober und 15. Januar, außer zur Herbstbestellung.
- Sonderauflagen bei gewissen Kulturen (Kartoffeln, Gemüse, Wintergetreide).

Über die Prämie hinaus, werden weitere Nitrat- oder PSM-bezogene Maßnahmen gefördert, z. B. die Übernahme der Probenahmekosten beliebig vieler N_{min}-Untersuchungen (die Analysekosten trägt der Landwirt), Investitionshilfe für die Schaffung von Güllelagerraum, die Anschaffung von Stickstoffmessgeräten, usw. Ebenso werden innerhalb der Kooperation Kosten für Versuche und begleitende N_{min}-Untersuchungen übernommen, wie z. B. für grundwasserschonenderen Porreeanbau.

4.5.5.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das WSG Kaldenkirchen-Grenzwald der Kommunale Partner Wasser GmbH, zu der u. a. die Stadtwerke Nettetal gehört, liegt unmittelbar nördlich des WSG Lüttelbracht und nordwestlich der WSG Breyell und Lobberich.

Der wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasserleiter besteht aus Sanden und Kiesen sowie Tonen, die die Leiterschichten in Grundwasserstockwerke teilen. Der Flurabstand des oberen Grundwasserstockwerks (Horizont 16) bewegt sich zwischen 10 und 13 m im westlichen Teil des WSG und je nach Topographie zwischen 3 und >10 m im östlichen Teil. Die Grundwasserfließrichtung ist primär nach Nordwesten gerichtet (s. Karte im Anhang 10.2.5). Die Sickerwasserverweilzeiten konnten für 15 Grundwassermessstellen berechnet werden und reichen von teilweise <5 Jahren bis >20 Jahren. Im Mittel liegen die Sickerwasserverweilzeiten bei ca. 8 Jahren. Die Zustromgebiete sind mit bis zu 1,5 km² zum Teil sehr groß und erschweren die räumliche Zuordnung zu Maßnahmengebieten.

Die Brunnen liegen in einem Waldgebiet im Westteil des WSG und fördern insgesamt etwa 1,4 Mio. m³ Grundwasser pro Jahr. Acht Brunnen fördern aus dem zweiten lokalen Grundwasserstockwerk (Horizont 11D) aus Tiefen von 30 – 40 m. Dieses besitzt aufgrund der lokalen Fensterung des Tegelentons (Horizont 13) in der Nähe der Brunnengalerie hydraulische Verbindungen zum obersten Stockwerk, das stark mit Nitrat belastet ist. Zwei weitere Brunnen fördern aus der tiefer liegenden Hauptkies-Serie (Horizont 8), die aufgrund der Durchgängigkeit des Reuvertons B (Horizont 11C) von den darüber liegenden Stockwerken getrennt ist (Cremer, 2015). Im Jahr 1993 wurde das Wasserwerk umgebaut

und 2014 gingen die zwei neuen Tiefbrunnen in Betrieb. Die Anteile der einzelnen Brunnen an der Gesamtförderrate sind in Abbildung 11 dargestellt.

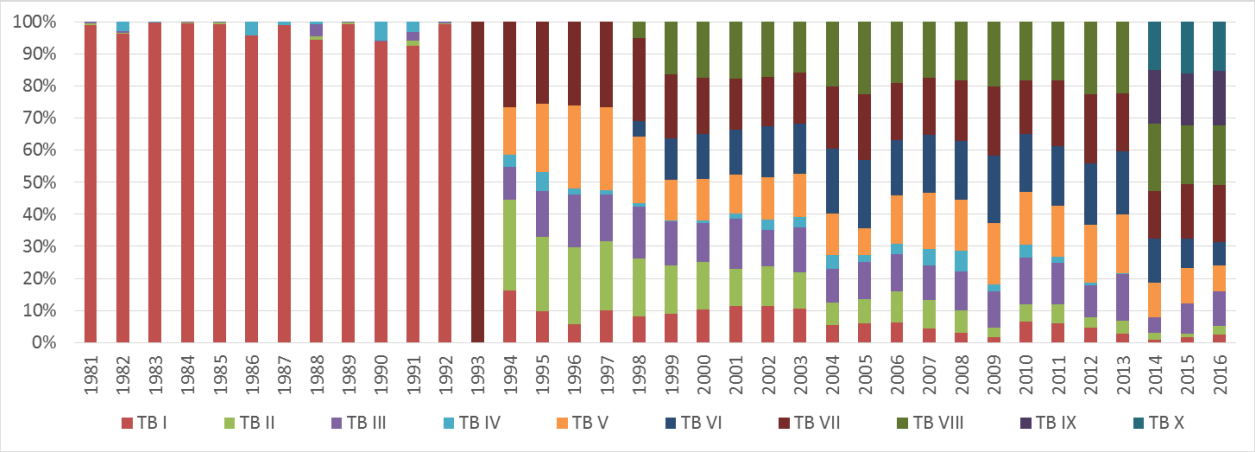


Abbildung 11: Anteile der Fördermengen der Brunnen im WSG Kaldenkirchen-Grenzwald

Die unmittelbar benachbarten bzw. angrenzenden Wasserschutzgebiete Breyell und Lobberich der Kommunale Partner Wasser GmbH befinden sich zwischen den WSG Dülken-Boisheim, Lüttelbracht und Kaldenkirchen-Grenzwald. Die Wasserschutzgebiete Breyell und Lobberich gehören seit 1997 zusammen mit dem WSG Kaldenkirchen-Grenzwald zur Kooperation Nettetal.

Der Grundwasserleiter besteht aus diversen Grundwasserstockwerken. Im oberen Stockwerk (Horizont 16) liegt der Flurabstand im Bereich von 1 m in den Niederungen bis >7 m. Die regionale Grundwasserfließrichtung ist nach Nordwesten gerichtet (s. Karte im Anhang 10.2.6). Die Sickerwasserverweilzeiten konnten für acht Messstellen berechnet werden und liegen meist bei <5 Jahren, vereinzelt treten längere Verweilzeiten von 10 - 20 Jahren auf. Im Mittel liegen sie bei ca. 3 Jahren.

Die zwei Brunnen des WSG Breyell fördern jährlich ca. 0,8 Mio. m^3 Grundwasser aus dem zweiten Grundwasserstockwerk (Horizont 11D), während vier Brunnen im WSG Lobberich etwa 1,43 Mio. m^3 Grundwasser aus dem tiefen Stockwerk 8 fördern (Cremer, 2015). Ein weiterer Brunnen, dessen Daten zur Auswertung herangezogen werden, befindet sich derzeit nicht in Betrieb und ist im darüber liegenden Stockwerk ausgebaut. Der Reuverton B (Horizont 11E) trennt in Breyell den Förderhorizont 11D von obersten Grundwasserstockwerk ab, während er im WSG Lobberich im Süden ausstreicht und damit eine hydraulische Verbindung zwischen den Horizonten 16 und 11D hergestellt wird (Cremer, 2015).

4.5.6 Lüttelbracht

4.5.6.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Lüttelbracht liegt in der Region Niederrhein im Kreis Viersen, etwa 5 km südwestlich der Stadt Viersen. Im gesamten Kooperationsgebiet gibt es keine Unterteilung in Zonen mit unterschiedlichen Formen der Kooperationsarbeit. Beratung und Förderung nach Prämienmodell unterliegen in dieser Kooperation keiner Unterteilung, sie werden gleichermaßen auf allen an der Kooperation teilnehmenden Flächen gehandhabt. Auflagen, Grenzwerte und weitere Inhalte der Kooperationsförderung ähneln stark dem Ansatz der Kooperation Nettetal.

Alle Flächen von Kooperationslandwirten im WSG erhalten bei Unterschreitung von 60 kg N/ha eine Prämie von 80 €/ha, bei einem Wert zwischen 60 – 80 kg N/ha erhält der Landwirt 25 €/ha. Wenn keiner dieser zwei Grenzwerte eingehalten wird, erhält der Landwirt 5 €/ha für die Teilnahme an der Kooperation. Doppelte Prämien werden ausgezahlt bei Unterschreitung derselben Grenzwerte für die Kulturen Gemüse und Kartoffeln.

Mit der Auszahlung einer Prämie sind zusätzliche Auflagen verbunden, unter anderem:

- Verpflichtung pflanzenbedarfsgerechter Nährstoffversorgung nach N_{min}-Methode oder N-Bilanzierung.
- Winterbegrünung (nach Ernte ohne Bodenbearbeitung, wie z. B. bei Mais, keine Begrünungspflicht).
- Keine Bodenbearbeitung zwischen 15. Oktober und 15. Januar, außer zur Herbstbestellung.
- Sonderauflagen bei gewissen Kulturen (Kartoffeln, Gemüse, Wintergetreide).

Darüber hinaus werden weitere spezifische Nitrat- und PSM-bezogene Maßnahmen gefördert, die zu einer effizienteren Düngung bzw. Anwendung von Pflanzenschutzmitteln beitragen. Darunter zählen z. B. die Anschaffung von Stickstoffmessgeräten sowie Ammoniumdepot-Düngungen und stabilisierte Stickstoffdünger, Nitrifikationshemmer bei frühzeitiger Düngung von Mais und Zuckerrüben, die Erweiterung der Güllelagerkapazität und verstärkte Anwendung von mechanischer Unkrautbekämpfung.

4.5.6.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Die Wassergewinnungsanlage Lüttelbracht der Gemeindewerk Brüggen GmbH verfügt über vier Betriebsbrunnen, welche in der Hauptkies-Serie (Horizont 8) ausgebaut sind. Abbildung 12 zeigt dazu exemplarisch die Ausbauzeichnung einer Vorfeldmessstelle, die im gleichen Horizont verfiltert ist.

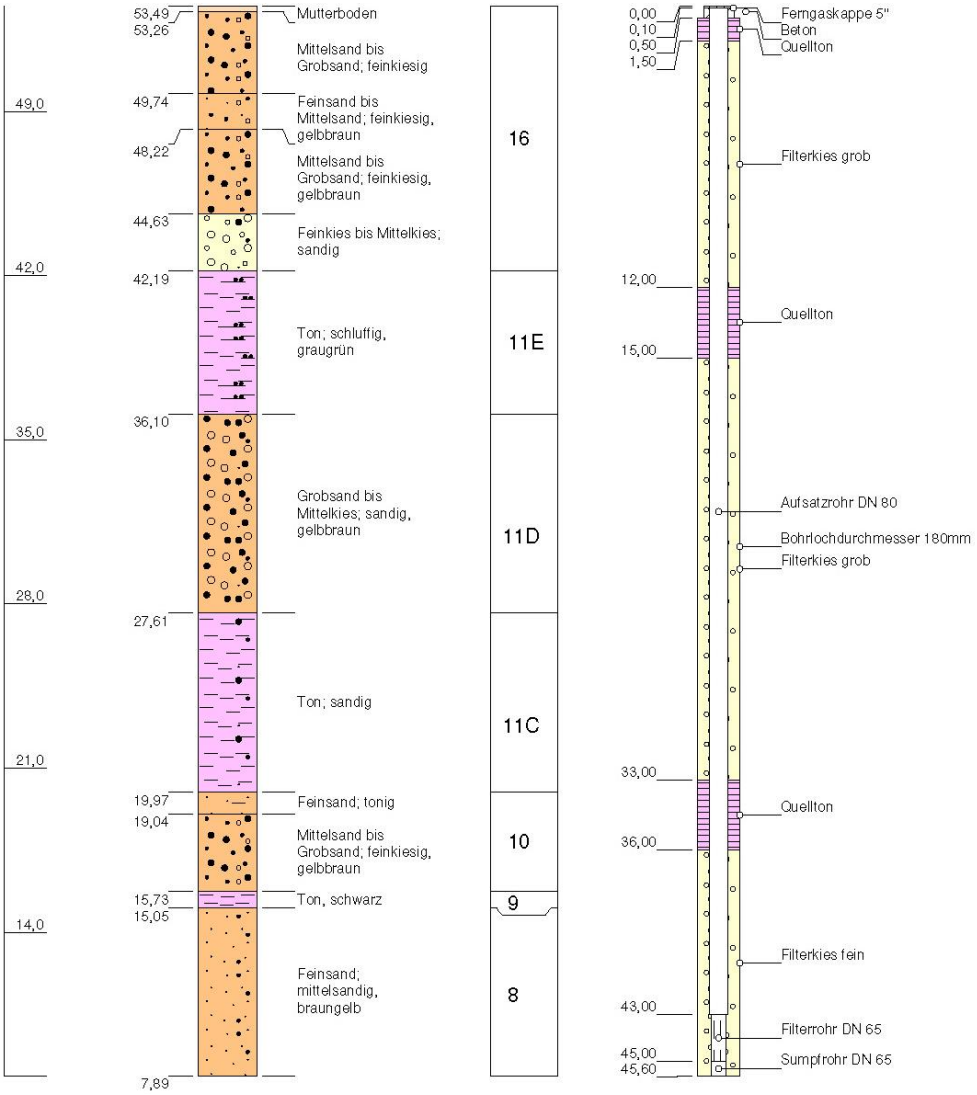


Abbildung 12: Geologisches Schichtenverzeichnis und Ausbauplan einer Vorfeldmessstelle im WSG Lüttelbracht mit Zuordnung zum Grundwasserstockwerk (Cremer 2015)

Der ausgebaute Horizont ist am Standort das dritte Grundwasserstockwerk, hydraulische Kontakte zu den darüber liegenden Stockwerken sind aufgrund von geringen Mächtigkeiten bzw. Fehlstellen der überlagernden Grundwassergeringleiter nicht auszuschließen (Cremer 2015).

Zwei der vier Betriebsbrunnen und alle Vorfeldmessstellen weisen hohe bis sehr hohe Nitratgehalte auf, teilweise mehr als 200 mg/l. Bei den Brunnen sind die Konzentrationen seit Mitte der 1980erJahre kontinuierlich gestiegen und liegen im Bereich des Grenzwertes der TrinkwV von 50 mg/l. Das obere Stockwerk weist vermutlich keine natürliche Denitrifikation auf, das tiefere, wasserwirtschaftlich genutzte hingegen in chemo-lithotropher Form schon.

4.5.7 Gatzweiler

4.5.7.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Gatzweiler-Rickelrath liegt südwestlich von Mönchengladbach und umfasst 16,45 km². Es ist unterteilt in ein Prämienmodellgebiet, in welchem Ausgleichszahlungen nach dem erreichten Herbst-N_{min}-Wert getätigt werden und in weitere Kooperationsflächen, in denen die Umsetzung einzelner Maßnahmen gefördert wird.

Das Prämiengebiet liegt überwiegend in der Wasserschutzzone IIIa, mit 142 ha Größe dehnt es sich über etwas weniger als 10% der Gesamtfläche des WSGs aus. Ausgleichszahlungen werden getätigt, wenn für Ackerbauflächen festgelegte Herbst-N_{min}-Grenzwerte unterschritten werden. Für das Jahr 2017 waren die Zahlungen folgende:

- bei 55-70 kg N/ha = 80 €/ha
- bei <55 kg N/ha = 270 €/ha

Mit der Auszahlung von Prämien sind zusätzliche Auflagen verbunden, z. B.:

- Reduzierte Stickstoffdüngung
- Verpflichtender Anbau von Zwischenfrüchten (wenn möglich)
- Bei Mais ohne Winterkultur als Folgefrucht darf keine Bodenbearbeitung und keine Düngung bis zum 1. Februar erfolgen
- Kartoffelanbauflächen müssen bis zum 30. August des Anbaujahres mit Gras, Senf oder Ölrettich begrünt sein

Im restlichen WSG werden diverse Arten des Zwischenfruchtanbaus, Maisuntersaaten und der Verzicht auf Bodenbearbeitung sowie die Ausbringung stickstoffhaltiger Dünger nach Ernte von Mais oder Getreide gefördert.

Darüber hinaus werden Maßnahmen gefördert, die eine optimierte Düngeplanung und Verteilung ermöglichen sollen, wie z. B. Nährstoffuntersuchungen von Wirtschaftsdüngern, Gärsubstrat und Serodüngern, die Überprüfung und Einstellung von Düngerstreuern sowie Lagerraum für flüssigen Wirtschaftsdünger und Festmist.

4.5.7.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Im WSG Gatzweiler erfolgt die Grundwasserförderung aus zwei Horizontalfilterbrunnen und zwei tiefen Vertikalfilterbrunnen. Die Förderrate aus dem flachen nitratbelasteten Horizont beträgt 1 Mio. m^3/a und aus dem tieferen Horizont 0,75 Mio. m^3/a (Cremer, 2015).

Zudem ist ein Einfluss durch den etwa 10 km südöstlich befindlichen Braunkohletagebau Garzweiler I und II zu beachten. Seit den 1990er Jahren besteht eine künstliche Grundwasseranreicherung im Anstrom der Brunnenfassungen (ca. 1 bis 2 km östlich, s. Abbildung 13) in Folge der bergbaulichen Aktivitäten und der großräumigen Grundwasserabsenkung besteht eine lokale Ausbreitung einer Infiltrationswasserfahne nach Nordwesten in Richtung der Brunnen. Der Infiltrationswasseranteil z. B.

beim Brunnen 1 hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen und lag in 2018 – hydrochemisch abgeschätzt anhand der Karbonathärte[10] - bereits bei etwa 24%.

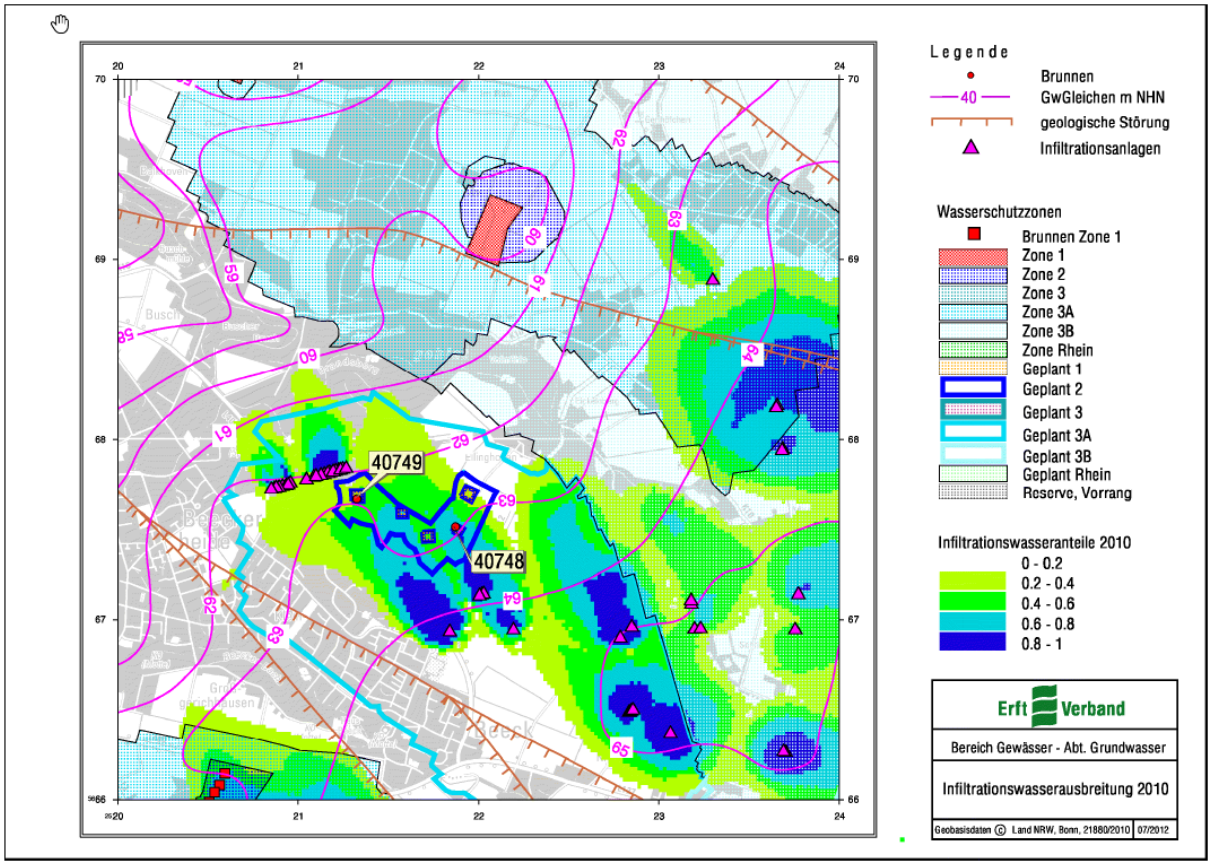


Abbildung 13: Infiltrationswasseranteile 2010 (AG Wasserversorgung, 2011)

Der Grundwasserleiter ist überwiegend aus gut durchlässigen Sanden und Kiesen aufgebaut. Einige des Kooperationsgebietes sind durch 1 – 2 m mächtige Deckschichten aus Lehm bzw. tonigem Schluff charakterisiert. Hohe Grundwasserneubildungsraten von durchschnittlich 230 mm/a erklären die dennoch überwiegend kurzen Sickerwasserverweilzeiten von <5 Jahren, die für die meisten GWM berechnet werden konnten. Lokal wurden auch längere Verweilzeiten von 5 – 10 Jahren ermittelt.

Der Flurabstand liegt in der Regel bei ca. 3 bis 5 m. Die Grundwasserhydraulik (Grundwassergleichen 2015) zeichnet sich durch eine NO-SW streichende Grundwasserscheide aus, wobei nahezu alle Grundwassermessstellen nordwestlich davon liegen, was der Hauptfließrichtung im Kooperationsgebiet entspricht. Nahe der nördlichen und südwestlichen Grenze des WSG verlaufen Vorfluter (Knippertzbach und Mühlenbach), die einen Anschluss zum Grundwasserleiter besitzen. Die Grundwassergleichen deuten auf effluente Verhältnisse hin. Der GWL ist jedoch auch durch die Infiltration nitratfreien Wassers beeinflusst (MULNV, 2018).

Drei der Brunnen befinden sich am Standort Gatzweiler, während ein weiterer (BR01001) in Rickelrath ca. 1,5 km nordwestlich liegt. Dabei handelt es sich um Horizontalfilterbrunnen und tiefer ausgebaute Vertikalfilterbrunnen. Das Brunnenpaar BR00901 und BR00902 fördert Grundwasser aus dem oberen Stockwerk (Filtertiefen <15 m), während die Entnahmen von BR00904 und BR01001 aus größeren Tiefen (Filtertiefen <50 m) erfolgen.

[10] Mdl. Mitteilung R. Schindler, NEW Niederrhein

4.5.8 Dülken-Boisheim

4.5.8.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Dülken-Boisheim liegt südöstlich von Dülken, der zweitgrößte Stadtteil Viersens. Seit 2004 ist das WSG Dülken-Boisheim ein Prämienmodell, bei dem Landwirte sowohl beraten werden als auch für das Unterschreiten von vorgeschriebenen Herbst-N_{min}-Grenzwerten Prämien ausgezahlt bekommen.

Bei fast allen Kulturen erhalten Kooperationslandwirte bei Unterschreitung von 60 kg N/ha eine Prämie von 80 €/ha und bei einem Wert zwischen 60 – 80 kg N/ha, 25 €/ha. Wenn keiner dieser Grenzwerte eingehalten wird, erhält der Landwirt immer noch 5 €/ha für die Teilnahme an der Kooperation. Höhere Prämien bei Einhaltung der gleichen Grenzwerte werden für Gemüsesorten und Kartoffeln ausgezahlt.

Das Prämienmodell ist mit folgenden zusätzlich einzuhaltenden Auflagen verbunden, unter anderem:

- Verpflichtung pflanzenbedarfsgerechter Nährstoffversorgung nach N_{min}-Methode oder N-Bilanzierung
- Meldepflicht für Wirtschaftsdüngerimport
- Winterbegrünung (nach Ernte ohne Bodenbearbeitung, wie z. B. bei Mais, keine Begrünungspflicht)
- Keine Bodenbearbeitung nach dem 15. Oktober, außer zur Herbstbestellung
- Ausbringung von Gülle, Jauche, Gärsubstrate, Hühnerkot und Hähnchenmist nur bis zum 31. August. Ausnahmen gelten für Ackergras und Grünland
- Sonderauflagen bei gewissen Kulturen (Kartoffeln, Gemüse, Wintergetreide)

4.5.8.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Der Grundwasserleiter im gemeinsamen WSG Dülken-Boisheim ist aus Sanden und Kiesen aufgebaut, die lokal von geringmächtigen (1 bis 2 m) Lehmen bzw. Schluffen überlagert werden. Die Flurabstände unterliegen räumlich großen Unterschieden zwischen 3 und 5 m im Nettetal und bis zu 15 m südlich von Dülken, die auf das nach Süden ansteigende Gelände zurückzuführen sind. Die Filter der GWM liegen nur wenige Meter unter der Grundwasseroberfläche. Anzeichen für einen stattfindenden Nitratabbau im oberen Grundwasserleiter gibt es im Kooperationsgebiet überwiegend nicht. Nur im Nahbereich der Brunnen bei verbreiteten Tonhorizonten wird dieser vermutet (Cremer, 2015).

Die Grundwasserfließrichtung ist von Süden bzw. Südosten nach Norden bzw. Nordwesten gerichtet. Für die GWM des Wasserversorgers konnten lückenlos Sickerwasserverweilzeiten berechnet werden. Aufgrund der teilweise sehr großen Flurabstände ergaben sich dabei Verweilzeiten von überwiegend 5 bis 10 Jahren, in den Niederungsgebieten weniger als 5 Jahre und vereinzelt mehr als 20 Jahre bei einer mittleren Grundwasserneubildung von etwa 220 mm/a (s. Anhang 10.2.10).

Die Wassergewinnungsanlage Dülken hat vier und Boisheim fünf Förderbrunnen, die zusammen ausgewertet werden, sie liegen auch in einer gemeinsamen Schutzzone IIIa. Von den insgesamt neun Brunnen fördern vier aus dem Teufenbereich von etwa 20 bis 35 m, davon je zwei in Dülken und Boisheim. Weitere fünf Brunnen, davon zwei in Dülken und drei in Boisheim fördern aus Tiefenlagen von mehr als 42 m (max. Filterunterkante 75 m unter Gelände).

4.5.9 Hastenrather Graben

4.5.9.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Seit Gründung der Kooperation in 1993 wird in diesem WSG die Umsetzung von Maßnahmen mit teilweiser oder vollständiger Rückerstattung der Kosten gefördert. Im gesamten Gebiet wird ein Kooperationsansatz praktiziert - es gibt keine Zonierung mit jeweils unterschiedlichen Maßnahmen- bzw. Beratungsintensitäten. Aufgrund der hohen Konnektivität zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser in diesem zum Teil karstigen Gebiet, werden auch Maßnahmen zum Schutz von Oberflächengewässern gefördert.

Zu den geförderten Maßnahmen zählen u. a.:

- Grünlandpflege (Nachsaat mit Ausleihen von Nachsaatmaschinen; Kalkung; Grünlandstriegel)
- Schutz von Oberflächengewässern (Auszäunung von Gewässern, Tränken)
- Anbau von Zwischenfrüchten
- Emissionsarme Wirtschaftsdüngerausbringung (bodennahe Gülleausbringung durch Lohnunternehmer, keine Düngung bei prognostizierten Starkregenereignissen und Auflagen für Hangneigungen)
- Erweiterung von Lagerkapazitäten
- Unterstützung bei der Düngeplanung
- Anteilige Technikförderung für Gülleverteiltechnik sowie Geräte zur Grünlandpflege
- Verleih kooperationseigener Maschinen (Direktsaatmaschinen, Wiesenwalzen, Striegel usw.)

Darüber hinaus wird in der Kooperation ein Schwerpunkt auf Feldversuche gelegt, welche in einem benachbarten WSG durchgeführt und deren Ergebnisse den Landwirten mitgeteilt werden.

4.5.9.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das WSG Hastenrather Graben der enwor (energie und wasser vor ort) GmbH liegt in der Nordeifel am nördlichen Rand des Rheinischen Schiefergebirges im Übergangsbereich zur Niederrheinischen Bucht. Es liegt eine komplexe, kleinräumige Gliederung der geologischen und tektonischen Verhältnisse vor. Die Gesteine waren mehreren Faltungs- und Überschiebungsphasen verschiedener Erdzeitalter ausgesetzt. Der Wasserrechtsantrag der ahu AG Aachen aus 2014 (unveröff.) beinhaltet zur Geologie und Hydrogeologie detaillierte Informationen.

Die vier Brunnen des Wasserwerks sind im sog. „Kohlenkalk“ verfiltert, das ist eine oberdevonisch-unterkarbonische Gesteinsfolge (s. Abbildung 14 und Abbildung 15). Zwei Brunnen sind etwa 70 Meter tief, zwei weitere etwa 120 Meter tief verfiltert (Filterunterkante). Die Filteroberkanten liegen zwischen 16 bis 37 Metern Tiefe. In 2005 und 2006 wurden elf neue Grundwassermessstellen im WSG gebaut. Die Flurabstände (ermittelt anhand eines Gleichenplanes vom Oktober 2011) sind in der Omerbachaue zumeist oberflächennah mit Werten von 5 Metern oder weniger ausgeprägt. Bei Messstellen, die den Förderhorizont aufschließen, reichen die Flurabstände von 10 bis 30 m.

Die Hydrogeologie des Gebietes ist sehr komplex und zeichnet sich durch die Graben-Horst-Struktur aus (s. Abbildung 15). Während die nordöstliche Abschiebung (Omerbach-Störung) als hydraulisch unwirksam angesehen wird, gilt die südlich liegende Sandgewand-Störung als teilweise hydraulisch durchlässig (Burs et al. 2016). Zwei Grundwasserstockwerke sind im WSG besonders relevant: die tertiären Feinsande und Kalke des Karbons, die zumeist hydraulisch nicht deutlich getrennt sind. Im nördlichen Bereich fließt das Grundwasser nach Norden mit einem relativ flachen Gradienten (0,006) ab. Südlich der hydraulisch wirksamen Deckenüberschiebung ist die Fließrichtung nach Westen gerichtet.

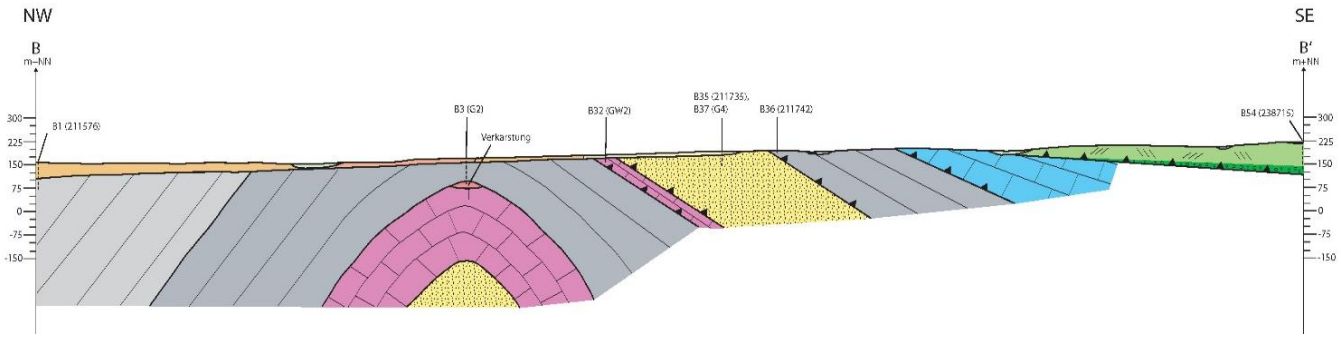


Abbildung 14: Geologischer Profilschnitt B-B‘ im WSG Hastenrather Graben

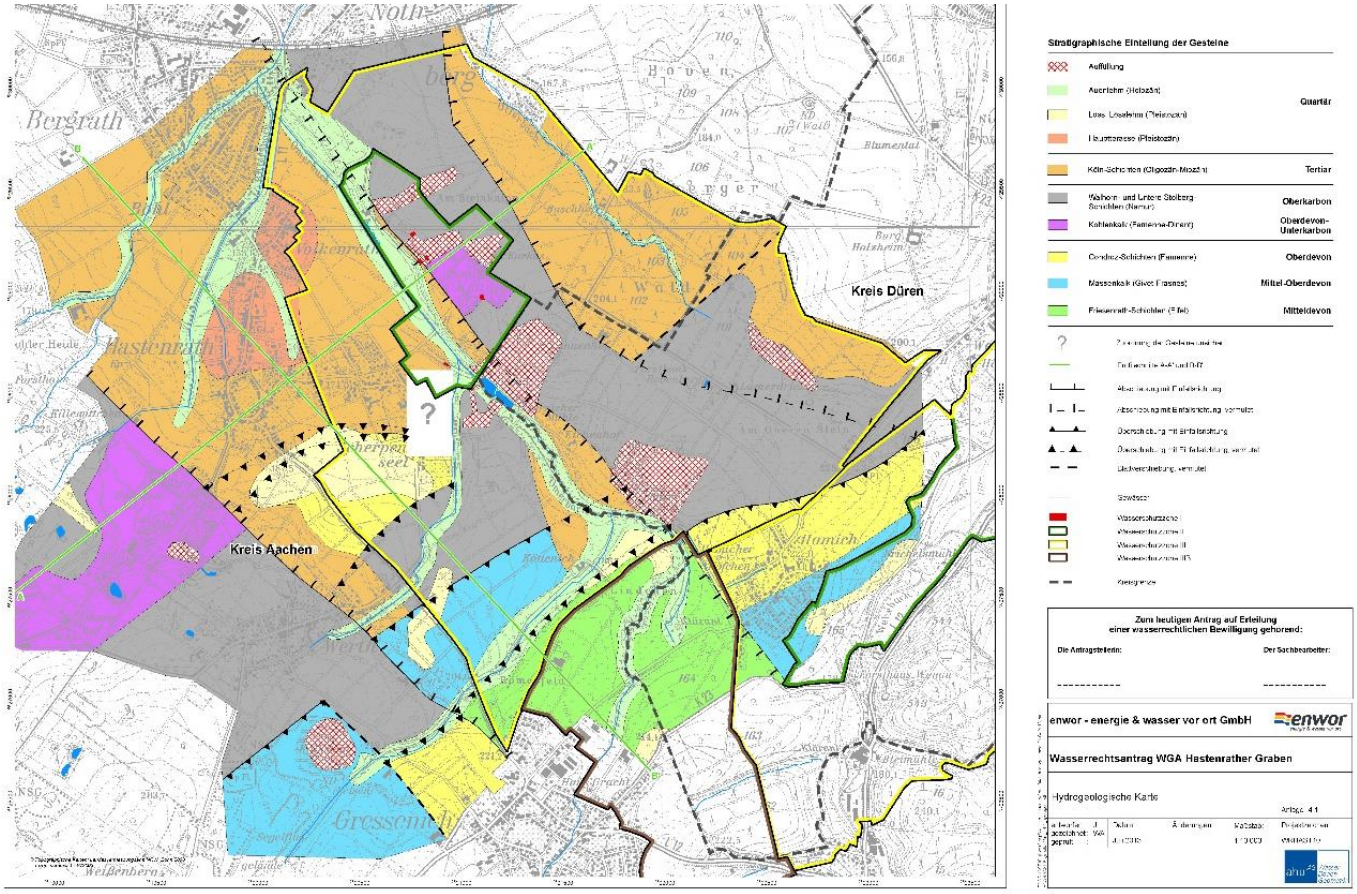


Abbildung 15: Hydrogeologische Übersichtskarte zum WSG Hastenrather Graben

4.5.10 Eicks-Mehlenbach

4.5.10.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

In diesem WSG findet eine Förderung von umgesetzten Maßnahmen statt. Im gesamten Gebiet wird ein einheitlicher Kooperationsansatz praktiziert. Zu den geförderten Maßnahmen in den für die Quellen definierten Zustromgebieten zählen:

N-relevante Maßnahmen:

- Kostenlose Erstellung von Nährstoffvergleichen
- Kostenlose Düngeberatung
- 100-Morgen-Programm: Auf Flächen, die an diesem Programm teilnehmen, finden weder Düngung noch Pflanzenschutzmaßnahmen statt. Die Flächen müssen durch Begrünung vor Bodenerosion und Nitrateinträgen geschützt werden. Im Ausgleich erhält der Landwirt 800 €/ha, Vertragslaufzeit ist 1 Jahr. Auf den am Programm teilnehmenden Flächen (entweder Grünland- oder brachliegende Flächen) wurde in den Vorjahren intensiver Ackerbau betrieben.
- Grünlandextensivierung: Flächen des Wasserversorgers, die von Landwirten günstig gepachtet werden können. Hinsichtlich der Düngung gelten die gleichen Auflagen des 100-Morgen-Programms.
- Förderung von Mais-Direktsaat

PSM-relevante Maßnahme:

- Jakobskreuzkrautbehandlung: Das Wasserwerk fördert die mechanische Bekämpfung von Jakobskreuzkraut auf Grünlandflächen (häufiges Mähen zu gewissen Zeitpunkten zwecks Zurückdrängen des Unkrauts). Diese Maßnahme ersetzt das Pflanzenschutzmittel Simplex (Wirkstoffe Aminopyralid und Fluroxypyr).

4.5.10.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Die Verbandswasserwerk GmbH Euskirchen betreibt westlich der Ortschaft Eicks die Wassergewinnungsanlage Mehlenbach-Eicks als kombinierte Entnahme aus zwei Tiefbrunnen (Eicks) und einem Teil des Quellwassers der acht Mehlenbachquellen (Bieske & Partner, BuP 2012). Abbildung 16 zeigt zwei dieser Quellen sowie das fast ausschließlich landwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiet der Quellen an den Hängen des Tales. Im Rahmen dieser Studie sind vor allem die Daten der Mehlenbachquellen relevant, da die beiden Tiefbrunnen den tieferen Grundwasserleiter des mittleren Buntsandsteins nutzen, der gegenüber Stoffeinträgen von der Oberfläche gut geschützt ist.

Die Quellen hingegen entwässern den oberen Buntsandstein, dessen Mächtigkeiten hier bis zu 65 Meter erreichen. Es handelt sich um Schicht- bzw. Verwerfungsstauquellen. Sie entwässern fluviatil gebildete Gesteine mit unregelmäßigen Wechselfolgen von feinen Sand-, Ton- und Schluffsteinpaketen mit karbonatischem Bindemittel. Das Mehlenbachtal ist als tektonische Schwächezone anzusehen, das über verstärkte Trennflächenbildung auch über wasserwegsame Klüfte verfügt (Treskatis 1993). Die Grundwasseroberfläche ist von Westen nach Osten zur Niederrheinischen Bucht geneigt.

2005 wurde in BuP (2005b) dokumentiert, dass die geförderten Rohwässer der gering mineralisierten Tiefbrunnen und der höher belasteten Mehlenbachquellen in einem festen Mischungsverhältnis (37% Tiefbrunnen zu 63% Quellwasser) vorliegen und damit ein Nitratwert von 40 mg/l im Mischwasser erreicht wird.

Abbildung 16: Mehlenbachquellen und Blick in das Einzugsgebiet der Quellen (rechts); Quelle: Verbandswasserwerk GmbH)

BuP (2005a) gibt einen Überblick zur Nitratentwicklung und zu den Sickerwasserdaten (Feldmessstationen) im Einzugsgebiet der Mehlenbachquellen. Damals lagen die Maximalkonzentrationen im Sickerwasser mit 850 mg/l sehr hoch, genauso wie die N_{min}-Daten mit Spitzenwerten von > 150 kg/ha. Bestätigt wurden letztere durch langjährig davor ausgewertete Gehalte, die trotz der damals bereits vorliegenden Kooperationsbemühungen eine Versickerung dieser hohen Frachten in das oberflächennahe Grundwasser und damit den Austritt an den Mehlenbachquellen nicht verhindern konnten.

Der ungesättigten Zone wird keine natürliche Denitrifikation zugeschrieben, so dass nur eine Verdünnung zu Konzentrationsminderungen führen könnte. Im Grundwasser der Quellen wurde im Jahr 2005 ein zunehmender Trend steigender Nitratgehalte festgestellt, der etwa 10 bis 15 mg/l in sechs Jahren ausmacht. Empfohlen wird daher eine Ausweitung der Kooperationstätigkeit, z. B. in Form von Extensivierungsmaßnahmen, Umstellung von Fruchtfolgen, Herausnahme von „Problemkulturen“, um das steigende Potential der Nitratkonzentrationen im Grundwasser abzusenken. Die Untersuchung aus dem Jahr 2005 zur Nitratentwicklung wurde seitdem nicht wiederholt, so dass eine Fortschreibung des Kenntnisstandes nicht verfügbar ist.

4.5.11 Weiler

4.5.11.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Weiler liegt linksrheinisch im Norden der Metropole Köln und grenzt östlich zum Rhein. Mit 125,3 km^2 ist es eines der größten in dieser Studie untersuchten WSG. Die Zusammenarbeit zwischen Landwirten und Wasserversorger begann in 1986 und wird vom Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden e.V. durchgeführt, welcher ebenso jährliche Berichte über den Stand der Kooperationsarbeit veröffentlicht.

Den Gutachtern liegen lediglich grundsätzliche Angaben zur Vorgehensweise in der Kooperation vor. Der übermittelte Herbst-N_{min}-Datensatz und die Jahresberichte der Kooperation lassen auf die Umsetzung folgender Maßnahmen schließen:

- Anbau Zwischenfrucht im Kölner Mulchsaatverfahren (125 €/ha)
- Anbau Zwischenfrucht konventionell
- Anbau 60-Tage-Zwischenfrucht (vor Winterweizen) (125 €/ha)
- Herbst-N_{min}-Untersuchungen
- N_{min}-Nachuntersuchungen (Monat Mai)
- Düngebedarfsprognose (Monat März)

4.5.12 Zündorf

4.5.12.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Zündorf liegt rechtsrheinisch zwischen Köln und Bonn, es grenzt nördlich an den Rhein. Mit 49,5 km^2 gehört es zu den größeren Grundwasserschutzgebieten dieser Studie. Die Zusammenarbeit zwischen Landwirten und Wasserversorger begann im WSG vor über 30 Jahren, noch vor der Verabschiedung des 12-Punkte-Programms in NRW, im Jahr 1985.

Den Gutachtern liegen lediglich grundsätzliche Angaben zur Vorgehensweise in der Kooperation vor. Der übermittelte Herbst-N_{min}-Datensatz und die Jahresberichte des Arbeitskreises Ackerbau und Wasser im WSG Weiler (dessen Arbeit viele Berührungspunkte mit denen des AK Drüber und Drunter im Langeler Bogen aufweist) lassen auf die Umsetzung folgender Maßnahmen schließen:

- Anbau Zwischenfrucht im Kölner Mulchsaatverfahren (125 €/ha)
- Anbau Zwischenfrucht konventionell
- Anbau 60-Tage-Zwischenfrucht (vor Winterweizen) (125 €/ha)
- Herbst-N_{min}-Untersuchungen
- N_{min}-Nachuntersuchungen (Monat Mai)
- Düngebedarfsprognose (Monat März)

4.5.13 Meindorf

4.5.13.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Im WSG Meindorf wird die Kooperationsarbeit vom „Arbeitskreis Landwirtschaft, Wasser und Boden im Rhein-Sieg-Kreis“ (ALWB) durchgeführt. Es gibt keine räumlichen Unterscheidungen im WSG hinsichtlich der geförderten Maßnahmen. Laut Berater gibt es ggf. einen etwas höheren „Beratungsdruck“ in der WSZ II.

In diesem WSG liegt der Schwerpunkt nicht auf Ausgleichszahlungen für umgesetzte Maßnahmen bzw. in Form von Prämien nach Herbst-Nmin. Stattdessen werden Landwirte hauptsächlich vom ALWB auf unterschiedliche Weisen unterstützt, z. B. durch die kostenlose Bereitstellung des Saatgu-

tes und die Durchführung von Untersaaten im Maisanbau, oder die Übernahme der Zwischenfruchtausbringung, die mit einer kooperationseigenen Direktsaatmaschine durchgeführt wird (womit Bodenbearbeitung und N-Auswaschung reduziert werden). Kooperationsmitglieder erhalten auch Zugang zu moderner, gewässerschonender landwirtschaftlicher Technik zu ermäßigten Kosten.

Zu den N-relevanten Maßnahmen in der Kooperation zählen u. a.:

- Düngeplanung: Übernahme der Analytik- und Probenahmekosten für Frühjahrs-Nmin (Landwirte können sich jede Fläche im WSG beproben lassen), Untersuchung von Bodenproben, Untersuchung Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern.
- Beteiligung an Anschaffungskosten für Exakt-Düngestreuer mit Computerüberwachung und Wiegeeinrichtung
- Förderung für Lagerkapazität für flüssige Wirtschaftsdünger
- Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger (im Schlitzverfahren)
- Beteiligung an Anschaffungskosten für Exakt-Miststreuer
- Förderung zur Geräteanschaffung für Mulchgeräte und Geräte zur Grünlandpflege
- Maßnahmen zum Erosionsschutz (die auch Stickstoffminderungswirkung haben):
    - Kostenlose Bereitstellung des Saatgutes und die Durchführung von Untersaaten im Maisanbau
    - Direktsaat
    - Strip-Till zu Mais
- Zwischenfruchtanbau:
    - Saatgut für die Durchführung des Zwischenfruchtanbaus auf Ackerflächen (Kosten des Saatgutes werden rückerstattet)
    - Zwischenfruchtausbringung mit der Direktsaatmaschine über die Kooperation

Die Unterstützung von Anschaffung neuer Technik ist auch als Maschinengemeinschaft möglich.

Darüber hinaus gibt es einen starken Fokus auf Beratung. Zahlreiche Frühjahrs-N_{min}-Werte werden jedes Jahr gemessen und in die Beratung miteinbezogen.

Einen weiteren Schwerpunkt bilden Parzellenversuche, z. B. mit Düngefenstern sowie Technikversuche mit unterschiedlichen Arten der Bodenbearbeitung. Die Kooperation veröffentlicht jährliche Berichte für die Kooperationslandwirte mit den Versuchsergebnissen.

4.5.13.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das Einzugsgebiet der Wassergewinnungsanlage Sankt Augustin-Meindorf des Wahnbachtalsperrenverbandes (WTV) im unteren Sieggebiet ist etwa 45 Quadratkilometer groß (WTV, 2018). Im überflutungsgefährdeten Bereich des Wasserschutzgebietes finden sich allochtone Auenböden. Im eingedeichten Gebiet haben sich Braunerden und Parabraunerden entwickelt. Das WSG ist hinsichtlich der Mächtigkeit und Textur der Bodendeckschichten sehr heterogen. Im Nordosten herrschen flachgründige sandige und im Südwesten tiefgründige lehmige Böden vor.

Die Grundwassergewinnung erfolgt aus Terrassenablagerungen von Sieg und Rhein, welche kein oder nur ein geringes Nitratabbaupotential erwarten lassen. Dieser Terrassenkörper erreicht maximale Mächtigkeiten von zirka 25 Meter, wird nach Osten hin immer geringmächtiger und keilt in Höhe der Stadt-Bahnstrecke Siegburg-Hangelar-Beuel aus. Das Einzugsgebiet erstreckt sich aber weiter nach Osten, da von dort versickernde Niederschläge über sandige Horizonte den Terrassenablagerungen zufließen. Im Nordosten, Nordwesten und Südwesten wird das Einzugsgebiet durch die ständig oder zeitweise infiltrierenden Oberflächengewässer Sieg und Rhein begrenzt. Die Grundwasserflurabstände variieren zwischen drei und 17 Meter. Die Sickerwasserverweilzeiten liegen im östlichen Teil (Sankt Augustin) bei 5 bis 10 Jahren, lokal übersteigen sie >10 Jahre. Im restlichen Gebiet betragen die Verweilzeiten des Sickerwassers in der Regel <5 Jahre.

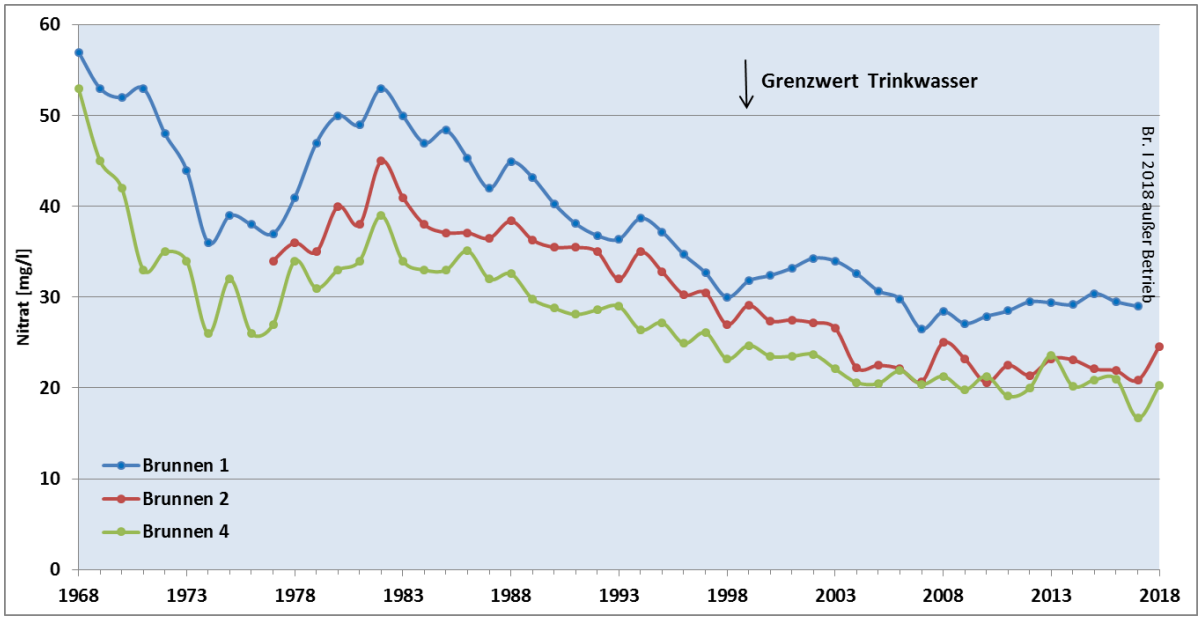


Abbildung 17: Nitratkonzentrationen in den drei Horizontalfilterbrunnen des Werkes Sankt Augustin-Meindorf

Grundwasser wird aus drei Horizontalfilterbrunnen mit jeweils neun Sammelsträngen in einer Tiefenlage zwischen 15 und 20 Metern entnommen und mit Unterwasserpumpen zum Wasserwerk gefördert. Als erster Aufbereitungsschritt findet eine physikalische Entsäuerung mittels Verdüsung zum Austrag überschüssigen Kohlendioxids statt. Das entsäuerte Wasser wird anschließend filtriert. Dafür stehen vier mit Quarzsand gefüllte Doppelfilter zur Verfügung. Das Filtrat gelangt über eine Sammelleitung in vier parallel betriebene Wasserkammern, in deren Zulauf die Einmischung von reinem Kalkwasser zur Restentsäuerung bzw. zur Einstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts und von Chlordioxid zur Desinfektion erfolgt. Aus den Wasserkammern erfolgt die Förderung und Mischung mit Trinkwasser aus Siegelsknippen sowie die Verteilung zu den Abnehmern. Die langjährige Entwicklung der Nitratkonzentrationen in den drei Brunnen dokumentiert Abbildung 17 (WTV 2018). Erkennbar sind in den 1980er und 1990er-Jahren langjährig fallende Konzentrationen (nähere Informationen dazu in Krämer 1992), die seit etwa 10 Jahren auf einem konstanten Niveau deutlich unterhalb von 50 mg/l verbleiben, jedoch (beim Brunnen I) sogar wieder leicht ansteigen. Die Ursachen dafür sind bisher nicht im Detail geklärt.

4.5.14 Kinderhaus

4.5.14.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Münster-Kinderhaus befindet sich östlich der Stadt Münster. Die gesamte landwirtschaftliche Fläche ist Teil der Kooperation. Kooperationslandwirte müssen sich an eine Anzahl verbindlicher Regeln halten, u. a.:

- Aufzeichnung schlagbezogener N-Düngergaben
- schlagbezogene Aufzeichnungen für Pflanzenschutzmaßnahmen sind zehn Jahre aufzubewahren
- Terminvorgaben für Düngung auf Acker- und Grünlandflächen
- Kein Einsatz von Bio-Abfallkompost, nur von Grünschnittkompost von zertifizierten Anlagen.

Im gesamten WSG wird ein Prämienmodell umgesetzt, von welchem allerdings nur ein Bruchteil der Flächen (ca. 120 Schläge) in einem Jahr beprobt werden. Diese Flächen werden jedes Jahr neu festgelegt, ca. 30 Tage vor Probenahme. Die Festlegung basiert auf einer Risikoanalyse. Zusätzlich zu

den Auswahlkriterien Hydrogeologie und Pedologie (die die Nitrataustragsgefährdung der Gebietsflächen bestimmen) sind Informationen über die angebaute Kultur sowie eventuelle Auffälligkeiten an den Vorfeldmessstellen relevant. Darüber hinaus wird eine gewisse Anzahl landwirtschaftlicher Flächen aus Kontrollzwecken unabhängig von den zuvor genannten Auswahlkriterien beprobt.

Weitere Flächenmaßnahme im WSG sind:

- Förderung von Zwischenfruchtanbau nach Mais und Getreide (Förderung greift in den Fällen, in denen eine Fläche nicht in die Herbst-N_{min}-Kampagne aufgenommen und für welche somit keine Prämie ausgezahlt wurde).
- Umwandlung von Acker in extensives Grünland: wird zwar im Maßnahmenkatalog aufgeführt, findet in der Praxis allerdings kaum Anwendung.

Zu den betriebsbezogenen Maßnahmen im WSG zählen:

- Maßnahmen, die zu einer bedarfsgerechteren Düngung führen:
  - Erweiterung von Lagerkapazität,
  - Einlagerung von Gülle auf anderen Betrieben,
  - Gülle-/Mistvollanalysen,
  - Emissionsarme Ausbringung von Wirtschaftsdüngern,
  - Mistausbringung mit Exaktstreuer auf Grünland, Getreide und Spargel
- Beratung, inkl. Berechnung von Nährstoffvergleichen und Düngeplanung.

4.5.14.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Beim Wasserwerk Kinderhaus der Stadtwerke Münster GmbH, das bereits in die Studie von IWW (2006) involviert war, sind Wasserschutz- und Kooperationsgebiet in ihrer Lage und Größe identisch. Durch das WSG verläuft der etwa Nord-Süd streichende Münsterländer Kiessandzug.

Die Rohwasserförderung erfolgt aus vier Förderbrunnen, die in zwei Hebergalerien zusammengefasst sind. In Abbildung 18 ist exemplarisch der Schichtenaufbau sowie der Ausbau der Vorfeldmessstellen gezeigt. Beide Messstellen sind im oberen, unbedeckten Grundwasserleiter ausgebaut, der eine überwiegend sandige Ausprägung zeigt. Das ist auch der Förderhorizont der Brunnen für die Trinkwassergewinnung, die zumeist an der Basis des Horizontes mit Filterlängen von 10 Meter verfiltert sind.

Die Grundwasserfließrichtung geht aus Anhang 10.2.15 hervor und ist im WSG nach Osten in Richtung des Flusslaufes der Münsterschen Aa gerichtet. Die berechneten Sickerwasserverweilzeiten reichen von < 5 Jahren (Überdeckung mittelsandig) bis lokal > 10 Jahre (Schluff).

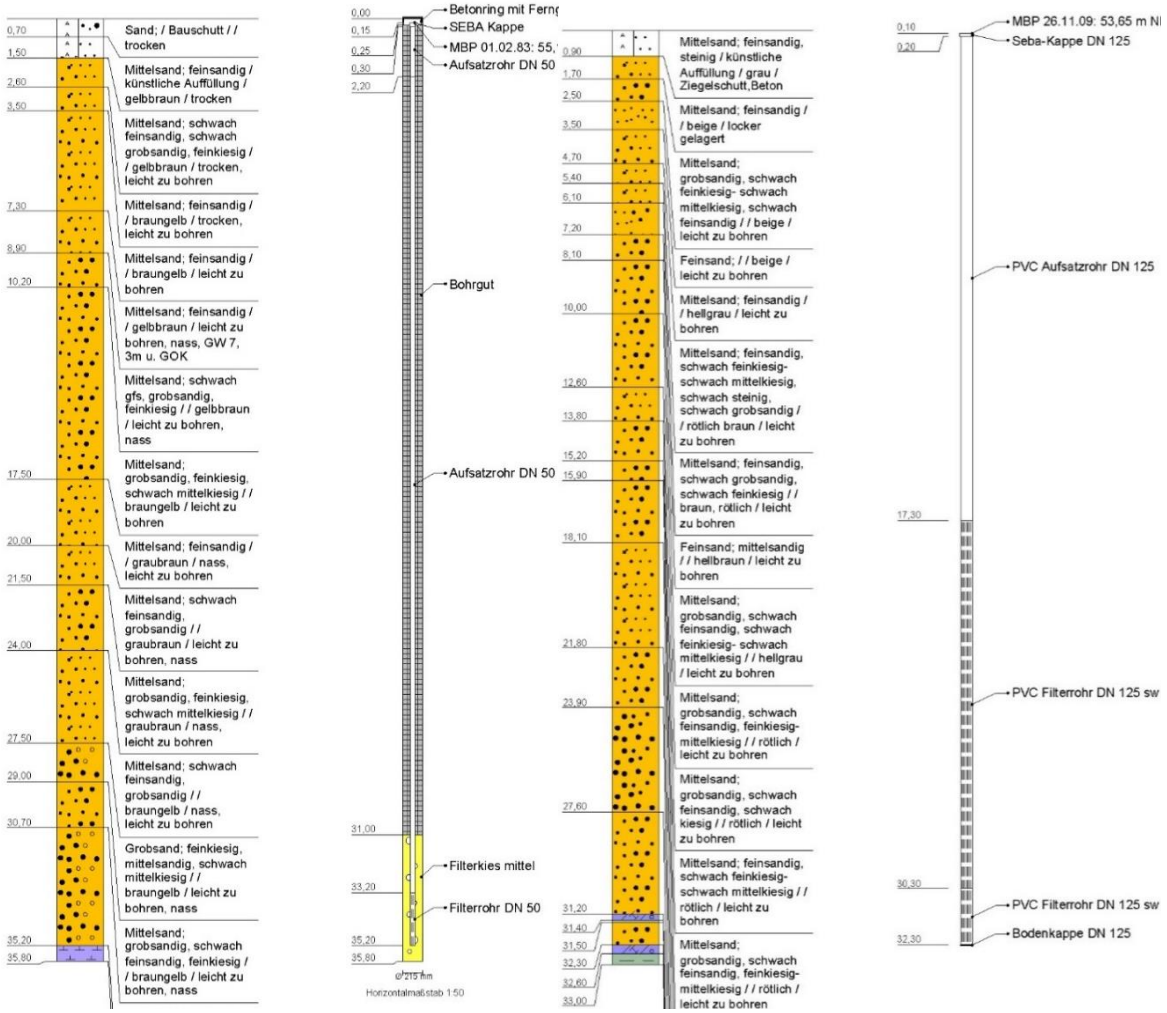


Abbildung 18: Geologische Schichtenverzeichnisse von zwei Vorfeldmessstellen im WSG Kinderhaus

4.5.15 Hedem

4.5.15.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Die Kooperationsarbeit im WSG Preußisch Oldendorf – Hedem-Harlinghausen wird von der kreisweiten „Wasserkooperation Minden-Lübbecke“ durchgeführt. Das WSG liegt vollständig im Kooperationsgebiet (s. Anhang 10.2.14).

Zum Basisangebot der Wasserschutzberatung zählte (Stand Förderkatalog vom 1.1.2014, gültig bis einschließlich 2016):

- Übernahme der Kosten für Probenahme und Analytik von max. drei N_{min}-Untersuchungen pro Betrieb (eine Probe je 20 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche)
- Unterstützung bei Quantofix-Analysen
- Kostenlose Erstellung von Nährstoffvergleichen
- Kostenlose Erstellung einer Düngeplanung
- Kostenlose Bestimmung des N-Düngebedarfs im Getreide im Frühjahr mit N-Tester
- 1x jährlich Kostenübernahme für eine Wirtschaftsdüngeranalyse

Die Gewässerschutzberater informieren die Kooperationslandwirte in regelmäßigen „Infofaxen“ zu unterschiedlichen Aspekten der Kooperationsarbeit, relevanten Änderungen der rechtlichen Lage, pflanzenbaulichen Aspekte in der Vegetationszeit, usw.

Zu den flächenbezogenen Fördermaßnahmen in der Kooperation zählen u. a. (Stand: Förderkatalog vom 1.1.2014, gültig bis einschließlich 2016):

- Direktsaat / Mulchsaat der Hauptfrucht
- Zwischenfruchtanbau in verschiedenen Varianten:
  - Standard: nicht winterharte Zwischenfrüchte, keine Leguminosen, Umbruch frühestens 2 Wochen vor Bestellung der Folgefrucht, kann auch für Sommerzwischenfrüchte beantragt werden
  - Winterhart: winterharte Zwischenfrüchte, keine Leguminosen, Umbruch frühestens ab 2 Wochen vor Bestellung der Folgefrucht
  - Saatgemenge: Gemenge muss aus mindestens drei Komponenten aus verschiedenen Arten bestehen, keine Leguminosen, Umbruch frühestens ab zwei Wochen vor Bestellung der Folgefrucht, Zwischenfrucht muss mit Sämaschine gedrillt werden
- Verminderte Bodenbearbeitung nach Mais: keinerlei Bodenbearbeitung, Bodenruhe bis 2 Wochen vor Aussaat der Folgekultur im Frühjahr
- Verminderte Bodenbearbeitung nach Raps: Im Spätsommer und Herbst dürfen nach der Ernte keine stickstoffhaltigen Dünger ausgebracht werden, dies ist erst nach Ende der Sperrfrist zulässig.
- Grünlandförderung
- Einhaltung der N-Obergrenze bei Spät-Nmin im Mais: Düngergabe nur bei noch bestehendem Bedarf (unterhalb von 130–150 kg N/ha in 0–60 cm Tiefe)

4.5.15.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Die WGA Hedem wird vom Wasserbeschaffungsverbandes (WBV) Kreis Herford-West betrieben. Das Gutachten von Consulaqua & GeoInfometric (2014) dokumentiert die hydrogeologischen Verhältnisse zusammen mit dem benachbarten Werk in Harlinghausen der Stadt Preußisch Oldendorf. Im Süden wird das WSG durch das Wiehengebirge begrenzt, an dieses schließt sich nördlich dessen Vorland mit quartärer Füllung an. Hieraus erfolgt die Trinkwassergewinnung. Etwa zwei Kilometer nördlich der Brunnen verläuft der Mittellandkanal. Die Förderbrunnen liegen meist in Arealen mit Quartärmächtigkeiten von 20 bis 30 m. Abbildung 19 zeigt zu den hydrogeologischen Einheiten des WSG die im

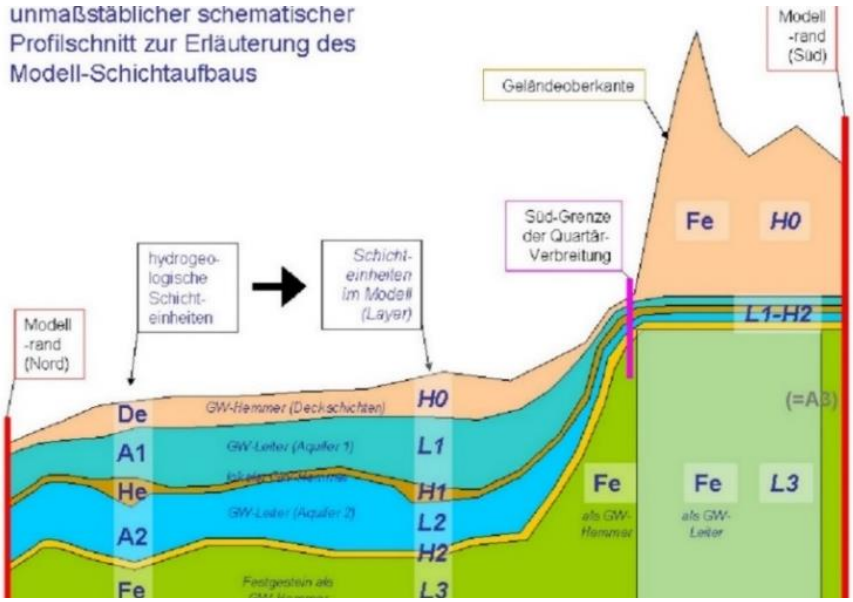


Abbildung 19: Unmaßstäblicher schematischer Profilschnitt zur Erläuterung des Schichtaufbaus im Einzugsgebiet des Wasserwerks Hedem

Strukturmodell des Schutzgebietsgutachten angelegten Schichten in schematischer Form. Die Trinkwasserförderung erfolgt aus den beiden bedeckten Grundwasserleitern „L1“ und „L2“. Die regionale Fließrichtung des Grundwassers ist nach Norden gerichtet. Die Flurabstände liegen bei ca. 2 bis 5 m.

4.5.16 Boker Heide

4.5.16.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

Das WSG Boker Heide liegt in Ostwestfalen, ca. 5 km nordwestlich von Paderborn und hat eine Fläche von 13,6 km^2. Das WSG ist Teil einer kreisweiten Kooperation. Die Kooperationsarbeit besteht vorwiegend aus Beratung und Förderung von Maßnahmen, die zu einer tiefergehenden Beratung führen.

Vorwiegend liegt in der Beratung der Schwerpunkt auf Ertragssteigerungen im Pflanzenbau bei gleichbleibender Düngung. Durch die höheren Erträge wird das Ziel verfolgt, dem Boden mehr Stickstoff zu entziehen und dadurch das N-Auswaschungsrisiko zu mindern. Höhere Erträge werden u. a. durch eine Steigerung der Bodenfruchtbarkeit mithilfe von Zwischenfruchtanbau erzielt. Die Mischung für das Zwischenfrucht-Saatgut wird von der Kooperation bestimmt und in einer Sammelbestellung erworben, an der auch Landwirte außerhalb des WSG teilnehmen, weil sie der pflanzenbaulichen Kompetenz der Beratung vertrauen. Die Mischung beinhaltet Phacelia, Rammkrellkraut, Buchweizen, Öllein, Rauhafer und Sonnenblumen (Tiefwurzler und Flachwurzler).

Zur Unterstützung der Beratung werden verschiedene Maßnahmen gefördert, u. a.:

- Frühjahrs-Nmin
- Spätfrühjahrs-Nmin
- Herbst-Nmin (mit Schwerpunkt auf problematische Kulturen, zur Bewertung der Beratungserfolge)
- Pflanzenanalysen
- N-Tester
- Vollanalyse von Dünger und Mist

Ein weiter Schwerpunkt der Kooperation liegt auf Feldversuchen, zu denen zählen:

- Unterfußdüngerversuche nach Mais
- Streifenversuche
    - Versuche zu Blattdünger
- Versuche zu Huminsäuren
- Versuche zu Bakterienbeizen

Flächenmaßnahmen werden nur sehr eingeschränkt gefördert, und zwar in Form einer Kostenübernahme für das Saatgut für Zwischenfrüchte (innerhalb der WSG).

4.5.16.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das Wasserwerk Boker Heide wird von der Gemeinschaftswasserwerke Boker-Heide GmbH im Auftrag u. a. der Wasserwerk Paderborn GmbH betrieben. Mit drei Horizontalfilterbrunnen in etwa 12 Meter Tiefe wird das Rohwasser gewonnen. Es handelt sich um kiesführende Sande eines mäßig durchlässigen und ungespannten Grundwasserleiters (Schmidt & Partner 2009). Gleichzeitig wird über gesonderte Rohrstränge mit Sauerstoff angereichertes Grundwasser infiltriert. Abbildung 20 dokumentiert die zeitliche Entwicklung der Nettofördermengen

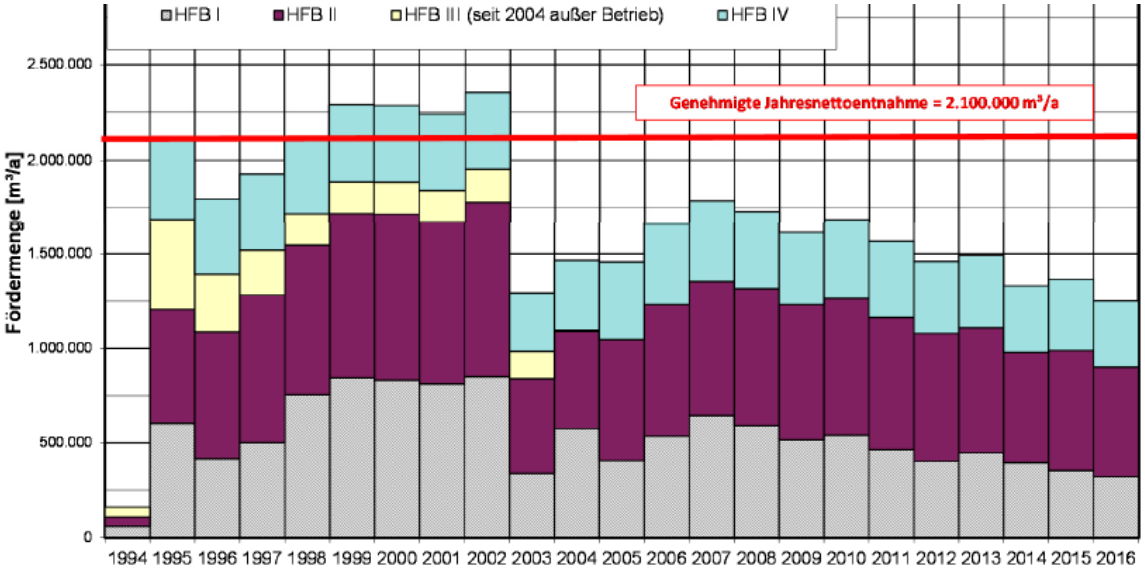


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der Nettofördermengen des Wasserwerkes Boker Heide der Gemeinschaftswasserwerke Boker-Heide GmbH

4.5.17 Stevertalsperre (Teileinzugsgebiet Funne)

Im Einzugsgebiet des Halterner Stausees beschränkte sich die Analyse auf das PSM-Substitutionsprojekt „Reduktion der Nicosulfuroneinträge im Wassereinzugsgebiet der Funne“. In diesem Teileinzugsgebiet wird seit dem Jahr 2013 eine Förderung für den Ersatz vom Wirkstoff Nicosulfuron durch den Stoff Rimsulfuron (Produkt „Cato“) und Foramsulfuron (Produkte „MaisTer flüssig“ oder „MaisTer Power“) zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz auf Maisflächen ausgezahlt. Die nicosulfuronhaltigen Gräsermittel werden im Gebiet häufiger als Teil einer Einfachbehandlung (im 4 bis 6-Blatt-Stadium vom Mais, ca. 15. bis 20. Mai) angewandt, weniger oft als Teil einer zweifachen Behandlung (1. Überfahrt bis zum 15. Mai, 2. Überfahrt im 8-Blatt-Stadium, um den 25. Mai).

Zusätzlich zum Ausgleich des Mehrpreises der rimsulfuron- und foramsulfuronhaltigen Produkte wurde ein PSM-Splitting gefördert. Das Splitting kann als zweite Herbizidanwendung im Mais stattfinden oder alternativ als eine Behandlung der Fläche vor der Saat mit dem Wirkstoff Glyphosat.

Die Förderbausteine dienen dazu, den Landwirten das Arbeiten mit Spritzfolgen und reduzierten Aufwandmengen nahezubringen bzw. durch die Glyphosatanwendung das Auftreten von Ackerfuchsschwanz schon im Vorfeld zu reduzieren, um die Notwendigkeit einer Anwendung von Gräsermitteln zu reduzieren. Darüber hinaus kann durch die Glyphosatbehandlung vor der Saat eine weitere wendende Bodenbearbeitung vermieden werden, welche die Bodenstruktur und die Wasserinfiltrationskapazität langfristig negativ beeinflusst. Die Analyse des Pilotprojektes findet sich in Kapitel 7.2.18.

4.5.17.1 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Das Wasserwerk Haltern der Gelsenwasser AG versorgt mit Hilfe der beiden Talsperren in Haltern und Hullern das nördliche Ruhrgebiet, das westliche Münsterland und Duisburg mit Trinkwasser. Die Talsperre Haltern speichert das Wasser aus Stever und Mühlenbach, welches dann etwa zu zwei Drittel zur Grundwasseranreicherung verwendet wird (Gesenwasser AG 2016). Bei Notwendigkeit werden zur Vorreinigung des Talsperrenwassers Flockungsmittel und Aktivkohle zugegeben, um unerwünschte Wasserinhaltsstoffe zu binden und zu entfernen. Von 2012 bis 2014 und in 2016 war dieser Reinigungsbedarf des Rohwassers u. a. aufgrund eines erweiterten Untersuchungsspektrums und damit aufgezeigter Einträge von Pflanzenschutzmitteln deutlich erhöht (s. Abbildung 22). Entsprechend stieg in diesen Jahren der Verbrauch von Aktivkohle im Wasserwerk auf etwa 600 t/a (s. Abbildung 23).

Hinsichtlich Nicosulfuron (NCS) z. B. gab es Hinweise, dass diese Einträge im Wesentlichen aus der Funne, einem Zufluss der Stever, entstammen (u. a. LWK 2018b). Abbildung 21 zeigt eine Übersichtskarte zum Wasserschutzgebiet Haltener Stausee und einem Ausschnitt aus dem gesamten Kooperationsgebiet mit Pegeln im Bereich der Funne. Dieses - nach Rücksprache mit Gelsenwasser in der Studie – näher untersuchte Einzugsgebiet befindet sich im Südosten des Kooperationsgebietes Stever. Es zeichnet sich durch erhöhte Hangneigungen aus und begünstigt damit Abflussprozesse und die Vulnerabilität für Bodenerosion.

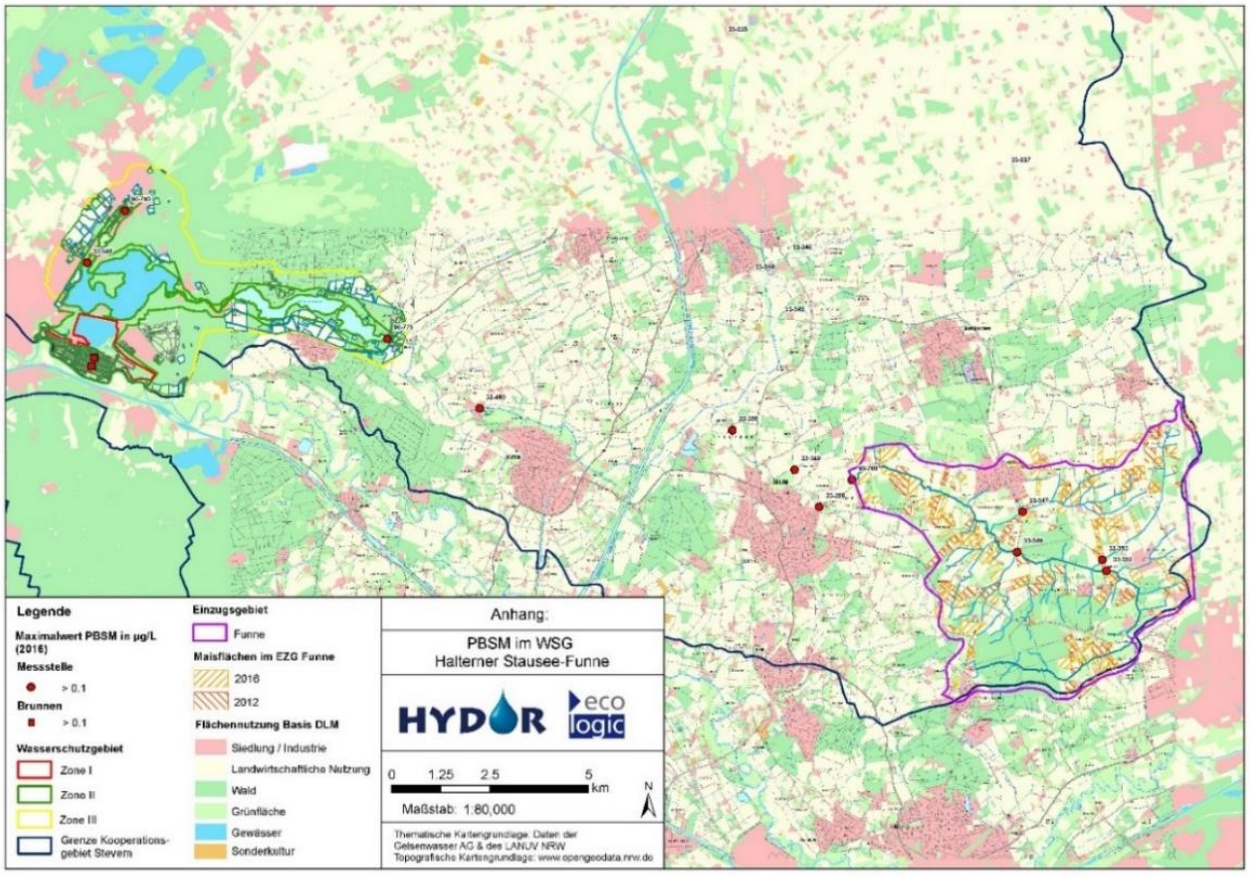


Abbildung 21: Übersicht zum Kooperationsgebiet Stever (Ausschnitt), zum WSG Halterner Stausee) sowie zum Funne-Teileinzugsgebiet im Südosten

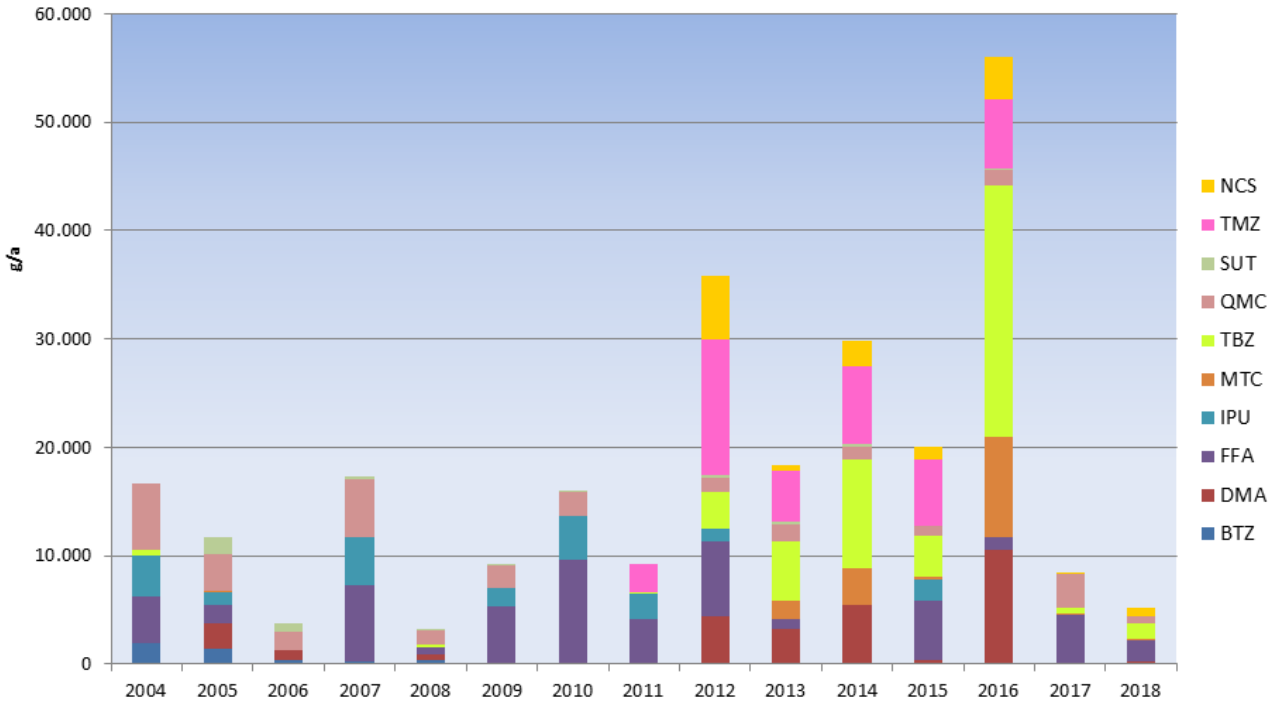


Abbildung 22: Kumulierte Herbizidfrachten verschiedener Wirkstoffe am Pegel Stever-Hullern im mehrjährigen Vergleich

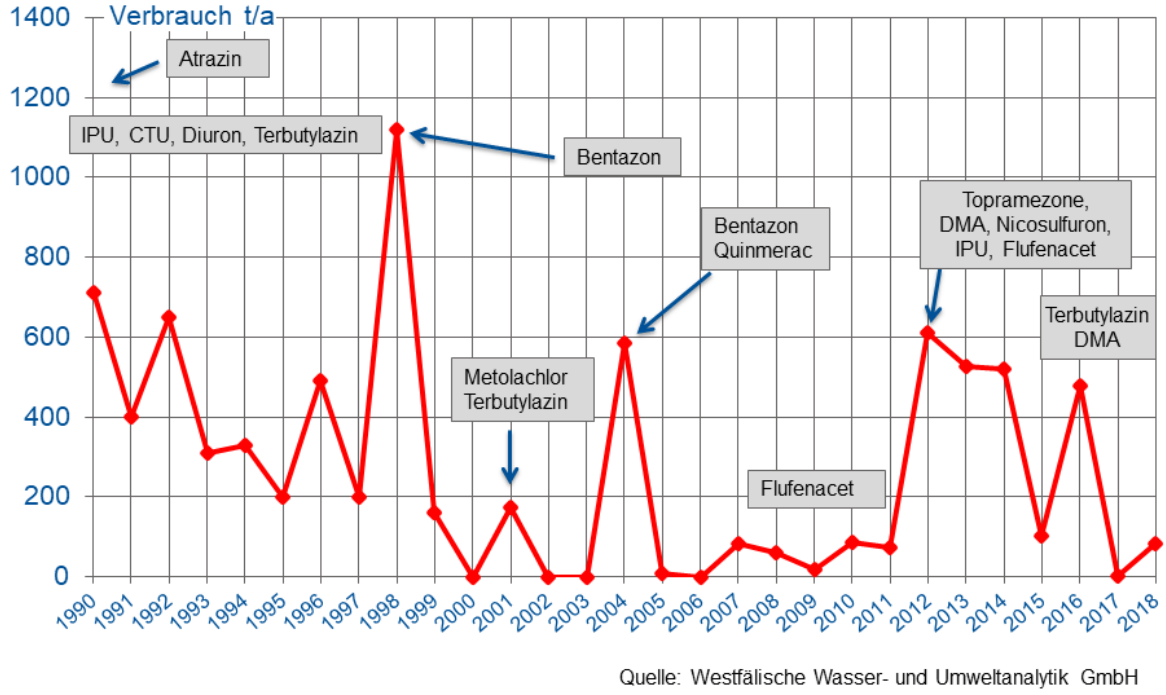


Abbildung 23: Aktivkohleverbrauch des Wasserwerks Haltern

4.5.18 Kerspetalsperre

4.5.18.1 Kurzcharakterisierung der Kooperationsarbeit

In der landwirtschaftlichen Fläche des Einzugsgebiets der Kerspetalsperre überwiegt das Grünland. Dementsprechend liegt der Schwerpunkt der Kooperationsbemühungen auf Grünlandmaßnahmen. Es wurden im untersuchten Zeitraum lediglich zwei Flächenmaßnahmen für Ackerbau gefördert (Anbau von Zwischenfrüchten nach Mais und Getreide, Maisuntersaat).

Zu den Flächenmaßnahmen für Grünland zählen u. a.:

- Düngung nach der Grünlandtemperatursumme T200
- Grünlandnachsaat
- Gülleausbringung mit Schleppschuhverteiler durch Lohnunternehmer
- Mistausbringung mit Exaktstreuer auf Grünland durch Lohnunternehmer
- Striegeleinsatz auf Grünland durch Lohnunternehmer
- Uferrandstreifen (WSW-Gewässerrandstreifen, Pflegeschutzflächen in gewässersensiblen Bereichen)

Eine große Anzahl an Maßnahmen sind betriebsbezogene Maßnahmen, die zu Verbesserungen im Güllemanagement, einer Minderung von PSM-Einträgen oder aber einer Erosionsminderung in den in die Kerspetalsperre mündenden Bächen führen sollen. Darunter fallen:

- Erweiterung der Lagerkapazität von Wirtschaftsdünger
- Beteiligung an Anschaffungskosten für bodennahe, verlustarme Ausbringungstechnik (Schleppschuhverteiler, Gülleschlitztechnik)
- Bauliche Verbesserungen (bei Lagerung von Schnitt- und Futterresten, an Hofstellen hinsichtlich der Sammlung und Ableitung von Niederschlagswässern)
- Verlagerung von Weide- und Ackerzufahrten zum Erosionsschutz
- Befestigung von Bachübergängen für Vieh und landwirtschaftliche Fahrzeuge
- Setzen von Weidezäunen an Gewässern
- Aufgabe der Viehtränke an Gewässern
- Wickeln von Silageballen
- Beschaffung von Geräten zur mechanischen Unkrautbekämpfung
- Maßnahmen zur Unterstützung des Nährstoffmanagements (u. a. N_{min}-Beprobungen, Bodenproben)

4.5.18.2 Wasserwirtschaftliche Kurzcharakterisierung

Die Kerspetalsperre dient seit 1912 der Trinkwasserversorgung der Bevölkerung Wuppertals und besitzt einen Stauinhalt von rund 14,9 Mio. m^3. Die Bewirtschaftung der Talsperre wurde 2016 durch den Wupperverband von der WSW Energie & Wasser AG übernommen.

Das Einzugsgebiet von ca. 28 km^2 wird zu etwa 40% landwirtschaftlich genutzt. Größtenteils handelt es sich dabei um Grünland. Die Kooperation zwischen Wasserversorger und Landwirten wurde im Jahr 1992 gegründet (Bußmann 2019). In diesem Rahmen wurden zahlreiche Maßnahmen für den Gewässerschutz entwickelt und angepasst. Abbildung 24 zeigt die Lage der talsperrennahen Probenahmestellen, an denen die Gewässerqualität kontrolliert wird und die dort ermittelten Konzentrationen.

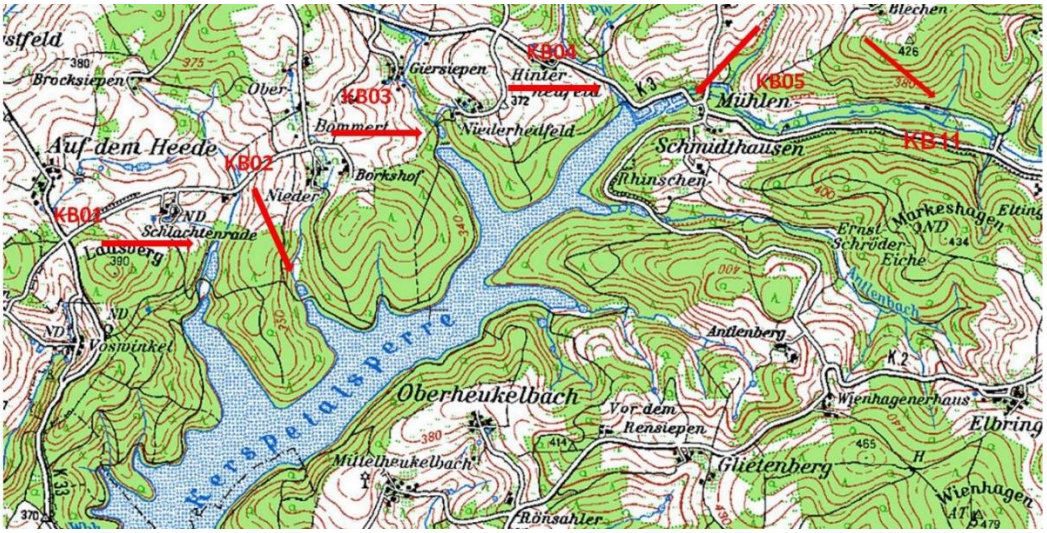


Abbildung 24: Übersichtskarte zu den Probenahmestellen entlang der Gewässer im Kooperations- und WSG der Kerspetalsperre (

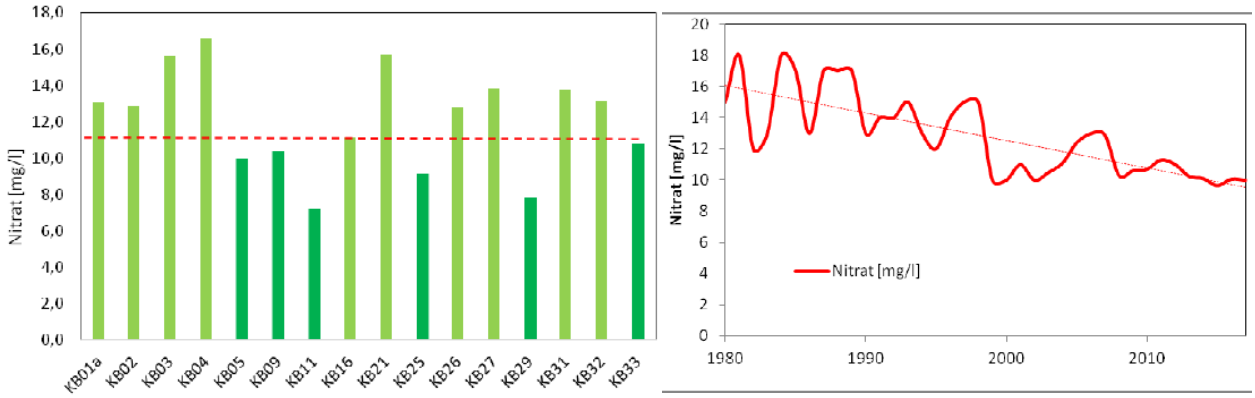


Abbildung 25: Jahresmittelwerte 2017 an ausgewählten Stationen (links) und zeitliche Entwicklung von Nitrat an der KB05 im Kerspebach vor Eintritt in die Talsperre

In den letzten 35 Jahren haben die Nitratkonzentrationen des Kerspebaches deutlich abgenommen und lagen in 2017 im Bereich des von der LAWA (2013) für Talsperrengewässer empfohlenen Wertes von etwa 11 mg/l (bwl 2018). Bei den vier Stationen an den Kleingewässern, die den landwirtschaftlich genutzten Bereich im Norden der Talsperre entwässern dagegen, liegen die Werte in 2017 deutlich oberhalb der in der Talsperre gemessenen 11 mg/l. Diese Gewässer stellen daher potenzielle Nitratschwerpunkte für die Talsperre dar. Daher wurde in dieser Studie der Fokus auf die landwirtschaftliche Analyse ihrer Einzugsgebiete gelegt.

5 Datenrecherche

5.1 Landwirtschaftliche Datenbestände

5.1.1 Kooperationsvereinbarungen, Maßnahmenkataloge, Informationen zu Maßnahmengestaltung und -umfang

Die Gutachter erhielten durch die Kooperationsberater Zugang zur für die Studie relevanten Dokumentation der Kooperationsarbeit. Dazu zählten Maßnahmenkataloge (aktuelle und ältere), Kooperationsvereinbarungen bzw. -verträge, Jahresberichte der Kooperationen, Informationen zu den jährlichen Aufwänden je nach Maßnahme (anonymisiert), Berichte zu Demonstrationsversuchen, Herbst-N_{min}-Datensätze und externe Gutachten. Tabelle 4 fasst die den Gutachtern zur Verfügung gestellt wurden. Ferner werden die Herbst-N_{min}-Datenbestände in Kapitel 5.1.2 zusammengefasst.

Tabelle 4: Überblick der erhaltenen Dokumentation zur Kooperationsarbeit

WSG		Förderkatalog	Kooperationsvertrag/-vereinbarung	Zusätzliche Dokumentation zur Kooperationsarbeit
Helenenbusch		Ja (Prämienm. u. Zusatzpakete)	Ja	Gutachten (1), Zusammenfassungen Mittelwerte (8)
Mussum		Ja	Ja	Kooperationskonzept, Studienauszüge, ältere Förderkat.
Flüren-Diersfordt-Blumenkamp		Ja		Gutachten (2)
Hartefeld	Prämiengeb.	Ja (Prämienm. u. Zusatzpakete)	Ja	Gutachten (2)
	Beratungsgeb.	Ja	Ja	
Kooperation Nettetal	Kaldenkirchen	Ja (Prämienmodell)	Ja	Gutachten (1)
	Breyell		Ja	Gutachten (1)
	Lobberich		Ja	Gutachten (1)
Lüttelbracht		Ja (Prämienmodell)	Ja	
Gatzweiler		Ja (Prämienm. u. Basisförd.)	Ja	
Dülken-Boisheim		Ja (Prämienmodell)	Ja	
Hastenrather Graben		Ja	Ja	Gutachten (1, Vortrag)
Eicks-Mehlenbach			Ja	Gutachten (3), Flächennutzung (2011-18), Infos N- und PSM-Maßn.
Weiler				Jahresbericht (3), Informationen zu Maßnahmen in Herbst-N_{min}-Datensätzen
Zündorf				Informationen zu Maßnahmen in Herbst-N_{min}-Datensätzen
Meindorf		Ja		Auszug Wassergütebericht, 3 Berichte Demonstrationsversuche
Kinderhaus		Ja		Karte der Bodentypen und Nitrataustragsgefährdung
Hedem		Ja	Ja	Flächennutzung (2007, 2012, 2017)
Boker Heide		Ja	Ja	Jahresbericht (1), Gutachten (3)
Kerspetalsperre		Ja	Ja	Jahresbericht (8), GIS-Daten, Zusammenfass. Ausgleichszahl. 2006-17
Halterner Stausee (Funne)			Ja	Jahresbericht (11), Bericht Sonderförderprogramm und Funne-Pilot-Projekt (2017), PSM-Empfehlungen Mais LWK (28)

Je nach Kooperationsansatz und Maßnahmengestaltung wurden in Telefonaten und E-Mails mit den Beratern die Einzelheiten der Kooperationsarbeit abgeklärt, z. T. in längeren telefonischen Einzelgesprächen, die entsprechend protokolliert wurden. Unter Anderem wurden auch die Einzelheiten einer datenschutzkonformen Datenweitergabe (z. B. von Herbst-N_{min}-Datensätze) besprochen.

Durch Ortsbesuche konnten zusätzliche Informationen zu der Kooperationsarbeit gesammelt werden. So haben z. B. die Gutachter die Studie dem Kooperationsvorstand bzw. auf der Mitgliederversammlung vorgestellt und für eine Teilnahme geworben. In einigen Fällen fanden auch in diesem Zusammenhang Besichtigungen der Flächen und Feldbegehungen statt, die zu einem besseren Verständnis der landwirtschaftlichen Eigenheiten vor Ort, der sich in der Kooperationsarbeit niederschlagenden Beratungsansätze, sowie der jeweiligen Besonderheiten der Kooperationsmaßnahmen beitrugen.

5.1.2 Herbst-N_{min}-Datensätze

In zahlreichen an der Studie teilnehmenden WSG (s. Tabelle 5) werden systematisch Herbst-N_{min}-Werte auf landwirtschaftlichen Flächen erhoben. Der Umfang der Herbst-N_{min}-Datensätze ist besonders ausgiebig für jene WSG, in denen die Förderung auf Basis eines „Prämienmodells“ erfolgt, entweder für ein Teilgebiet oder für die gesamte landwirtschaftliche Fläche des WSG.

Tabelle 5: Überblick der erhaltenen Herbst-N_{min}-Datensätze für die untersuchten WSG

WSG		Herbst-N_{min}-Werte			
		Anzahl Werte	Anzahl beprobter Schläge	Zeitraum Datensatz	Erhebungszweck
Helenenbusch		463	72	2010 - 2017	Prämie (Teilgebiet)
Mussum		225	45	2011 - 2017	Prämie (Teilgebiet)
Flüren-Diersfordt-Blumenkamp		854	184	2012 - 2018	Prämie (Teilgebiet)
Hartefeld	Prämiengeb.	1527	159	2008 - 2017	Prämie (Teilgebiet)
	Beratungsgeb.	1627	168	2008 - 2017	Beratung
Kooperation Nettetal	Kaldenkirchen	3130	1217	2014 - 2017	Prämie (Gesamtgebiet)
	Breyell				
	Lobberich				
Lüttelbracht		1226	439	2014 - 2017	Prämie (Gesamtgebiet)
Gatzweiler		515	58	2008 - 2017	Prämie (Teilgebiet) u. Beratung
Dülken-Boisheim		10754	1197	1994 - 2017	Prämie (Gesamtgebiet)
Hastenrather Graben		Werden nicht erhoben			
Eicks-Mehlenbach		Werden nicht erhoben			
Weiler		1119	107	2005 - 2016	Beratung und Prognose der Belastungen
Zündorf		855	166	2008 - 2017	Beratung und Prognose der Belastungen
Meindorf		Werden nicht erhoben			
Kinderhaus		-			
Hedem		Werden nicht erhoben			
Boker Heide		172	57	2000 - 2017	Problemkulturen
Kerspetalsperre		Werden nicht erhoben			
Halterner Stausee (Funne)		PSM-Schwerpunkt			

Unter den 19 untersuchten WSG mit Schwerpunkt Stickstoffminderung stellten zwei Kooperationen in den 1990er Jahre auf eine Prämienförderung (mit Extensivierungsauflagen) um. Darauf folgten weitere sechs in den 2000ern und zwei zwischen 2010 und 2013. Dazu konnten die Herbst-N_{min}-Datensätze für drei weitere WSG ausgewertet werden, die zum Zwecke der Beratungstätigkeit und Erfolgskontrolle erhoben werden. Insgesamt flossen über 22.000 Herbst-N_{min}-Werte von über 3.800 landwirtschaftliche Flächen in die Analyse mit ein.

Die Anzahl der Herbst-N_{min}-Beprobungen in einem WSG mit Prämienförderung hängt auch davon ab, ob die Prämienförderung in einem Teilgebiet oder aber im gesamten WSG stattfindet. Mehrere Kooperationen haben ein Teilgebiet mit Prämienförderung festgelegt (oftmals auch „Extensivierungsgebiet“ genannt), während im restlichen WSG zusätzlich zur Beratung die Förderung aufgrund der Umsetzung einzelner Flächenmaßnahmen stattfand. Diese „Extensivierungsgebiete“ liegen in der Nähe der Förderbrunnen, mit Flächen überwiegend in der WSZ II und IIIa.

In anderen Gebieten wiederum gilt für die gesamte landwirtschaftliche Fläche ein Prämienmodell. In dieser Studie ist dies für fünf WSG aus dem Kreis Viersen der Fall. Alle an dieser Kooperation teilnehmenden landwirtschaftlichen Flächen werden somit jährlich beprobt.

In einem Fall werden in einem Gebiet ohne Prämienförderung alle landwirtschaftlichen Schläge beprobt (Hartefeld – Beratungsgebiet).

Ausführungen zur Methodik der Analyse von Herbst-N_{min}-Datensätzen finden sich in Kapitel 6.1 und zu den Ergebnissen der Analyse in den Unterkapiteln von Kapitel 7.1.

5.1.3 Charakterisierung der landwirtschaftlichen Intensität um die WSG

In den untersuchten WSG findet eine gänzlich unterschiedliche Landwirtschaft statt, wie unter anderem anhand der unterschiedlichen angebauten Kulturen und deren Flächenanteile in den WSG (vgl. Kapitel 7.1) zu erkennen ist. Der Anteil der von Wasserschutzberatern gerne genannten „Problemkulturen“ Mais, Kartoffeln, Gemüse (unter dieser letzten Kategorie fallen zahlreiche unterschiedliche Gemüsesorten, sehr viele davon mit einem hohen Stickstoff-Auswaschungspotenzial) ist regional geprägt und unterscheidet sich in den Gebieten stark. Auch Faktoren wie das Anfallen von organischem Dünger, Gärresten, Kompostwirtschaft und Gülleimporte in eine Region sind regional stark unterschiedlich und hängen mit den jeweiligen landwirtschaftlichen Strukturen zusammen.

Um die Intensität der regionalen Landwirtschaft abbilden und in die Interpretation der Studienergebnisse einbeziehen zu können, wurden die Ergebnisse des GROWA+ NRW2021 Projekts herangezogen. Für dieses Projekt wurden gemeinsam von der LWK NRW und dem Thünen Institut Stickstoffbilanzüberschüsse auf Gemeindeebene für NRW modelliert. Aus Sicht der Gutachter stellen diese Zwischenergebnisse die derzeit beste verfügbare Schätzung der tatsächlich anfallenden N-Bilanzüberschüsse in den Regionen um die WSG herum dar.

Abbildung 26 bildet diese Ergebnisse graphisch für ganz NRW ab. Diese Daten fließen in die Analyse der Kooperationsarbeit in Kapitel 7 und in die Schlussfolgerungen und Empfehlungen in Kapitel 8 ein. In zahlreichen Fällen verlaufen die Gemeindegrenzen durch ein WSG, in einigen Fällen sind die modellierten N-Bilanzüberschüsse für diese Gemeinden unterschiedlich hoch. Diese Fälle sind entsprechend farblich gekennzeichnet (vgl. Tabelle 15 in Kapitel 8).

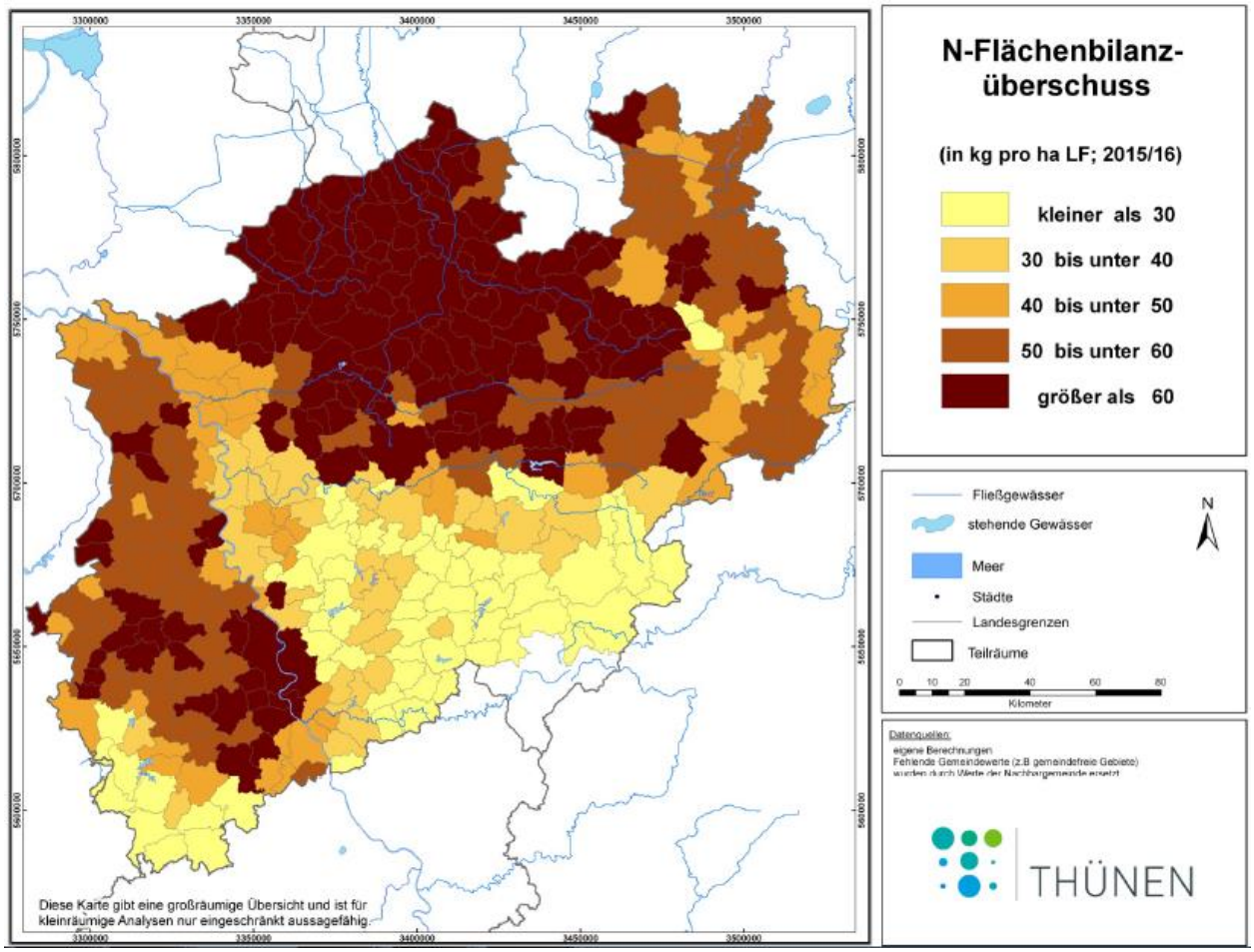


Abbildung 26: Modellierter Stickstoffbilanzüberschuss für das Jahr 2015/16 auf Gemeindeebene in NRW

5.2 Wasserwirtschaftliche Daten

5.2.1 Wasserwirtschaftlicher Anlagenbestand

Die von den Wasserversorgungsunternehmen übermittelten Daten zu den wasserwirtschaftlichen Anlagen wurden auf ihre Vollständigkeit hinsichtlich der Stamm- und Beschaffenheitsdaten geprüft. Dabei handelte es sich je nach WSG neben Brunnen und Grundwassermessstellen auch um Quellen oder Pegel bzw. Probenahmestellen an oberirdischen Gewässern. Bei den Stammdaten waren neben den Koordinaten, um die lagebezogene Zuweisung zu einer Maßnahme vorzunehmen, auch Angaben zur Filterlage notwendig, damit bei einem tiefen Ausbau das Vorliegen eines anderen hydrochemischen Milieus berücksichtigt werden konnte. Wurden auch geologische Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne übermittelt, konnten Sickerwasserverweilzeiten nach DIN 19732 (siehe Kap. 6.1) berechnet werden

Bei den Beschaffenheitsdaten wurden nur Messstellen berücksichtigt, die eine Zeitreihe der hydrochemischen Daten, vor allem Nitrat bis mindestens 2015 vorweisen, um die Auswirkungen der Maßnahmen zum kooperativen Gewässerschutz bewerten zu können. Für die Wasserschutzgebiete Weiler und Zündorf lagen keine messstellenbezogenen Beschaffenheitsdaten vor und konnten daher nicht bewertet werden. Die Wasserschutzgebiete Haltener Stausee und Kerspetalsperre sind in der Grafik nicht mit aufgeführt, da in beiden Gebieten oberirdische Gewässer betrachtet werden (siehe Kapitel 4.5).

Abbildung 27 zeigt für die Wasserschutzgebiete mit Grundwassergewinnung die Anzahl der von den Wasserversorgern übermittelten Grundwassermessstellen, die grundsätzlich hydrochemische Daten enthalten. Lagen die gewünschten Stamm- und Beschaffenheitsdaten nicht oder nicht ausreichend vor, waren diese Messstellen für die weitere Auswertung nicht nutzbar und wurden von der weiteren Bewertung ausgeschlossen. In einigen WSG (z. B. Mussum, Hedem) war dieser Anteil sehr hoch. Die Spannweite der auswertbaren Grundwassermessstellen bewegt sich dabei von wenigen bis hin zu 53 Messstellen (WSG Hartefeld). Daraus ergeben sich für die Bewertung der Maßnahmen unterschiedliche Ausgangsbedingungen mit einem entsprechenden Grad der Bewertungsgüte.

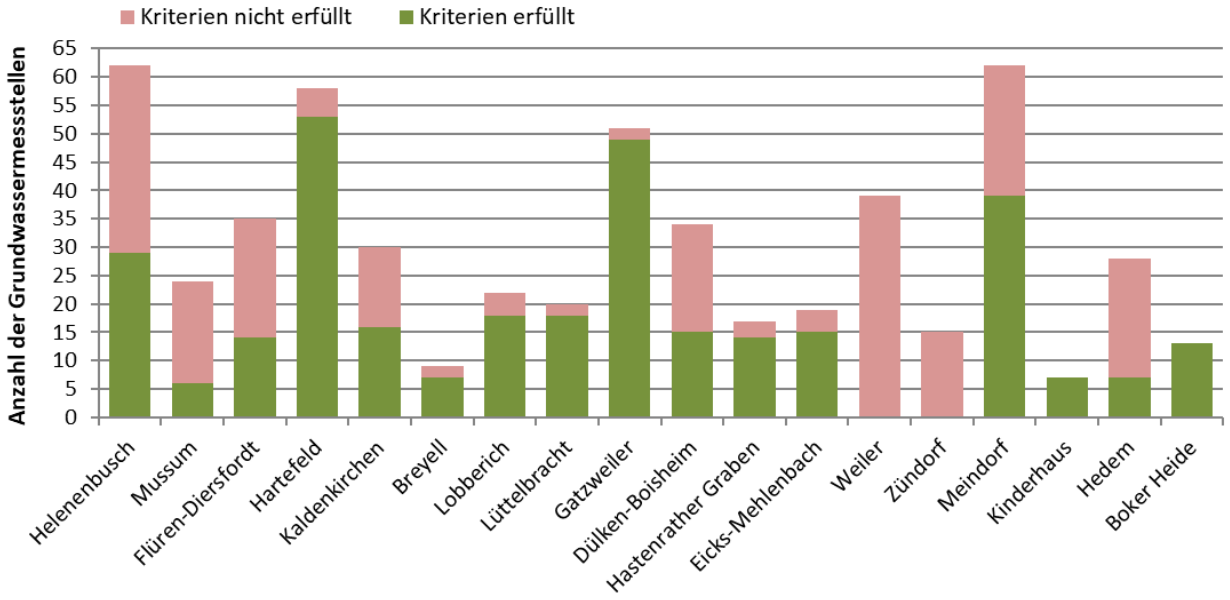


Abbildung 27: Übersicht zur Anzahl der von den Wasserversorgern übermittelten Grundwassermessstellen mit hydrochemischen Daten pro Wasserschutzgebiet

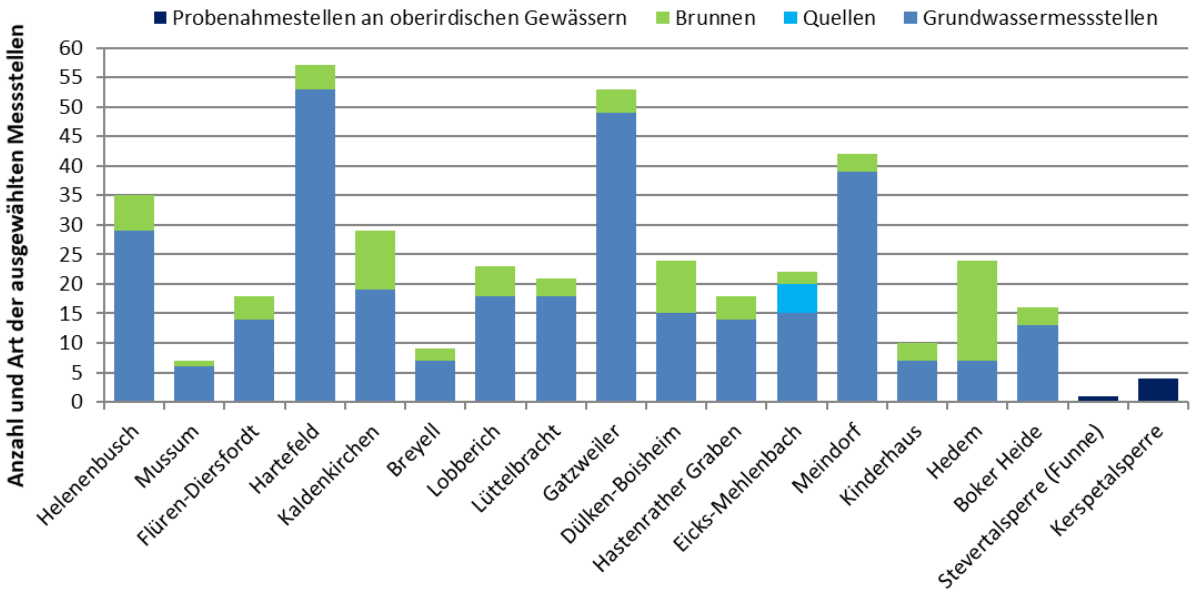


Abbildung 28: Übersicht zur Kulisse mit auswertbaren Messstellen pro Wasserschutzgebiet

Ebenso wie für die Grundwassermessstellen wurden die Datenkriterien auch auf die weiteren Messstellen wie Brunnen, Quellen und Probenahmestellen an oberirdischen Gewässern angewandt. Im

Ergebnis ergibt sich für die verschiedenen Gebiete die in Abbildung 28 dargestellte Messstellenkulisse. In Mussum wurde die aus sieben Brunnen bestehende Hebergalerie als eine Messstelle gewertet, da aus dem gewonnenen Mischwasser kein separater Rückschluss auf den jeweils einzelnen Brunnen möglich ist. Die Spannweite der auswertbaren Brunnen liegt zwischen zwei und 17. In Eicks-Mehlenbach werden zur Trinkwasserversorgung Quellen genutzt, von denen fünf die Datenkriterien erfüllen.

An den beiden Talsperren ist das Grundwasser für die Trinkwasserversorgung nicht unmittelbar Gegenstand der Untersuchungen, so dass hier ausschließlich Probenahmestellen an den oberirdischen Gewässern betrachtet wurden. An der Kerspetalsperre wurden zur Abgrenzung des Einzugsgebiets und damit der durchgeführten Maßnahmen nur diejenigen Probenahmestellen betrachtet, die an einem Zulauf zur Kerspe positioniert sind und damit kein Mischwasser wiedergeben. Am Haltener Stausee, dem einzigen Gebiet mit ausschließlicher Betrachtung von Maßnahmen zur Verringerung von Einträgen von Pflanzenschutzmitteln, wurde nur das mit einer Probenahmestelle belegte oberirdische Teileinzugsgebiet der Funne betrachtet.

Abbildung 29 stellt den jeweiligen Anteil nach Art der Messstelle über alle 18 untersuchten Wasserschutzgebiete dar. Mit 78% überwiegen die zu untersuchenden Grundwassermessstellen vor den Brunnen mit 20%. Quellen und Probenahmestellen an oberirdischen Gewässern finden sich nur untergeordnet.

Von den 320 Messstellen sind im WSG Eicks Mehlenbach alle und im WSG Hastenrather Graben neun Messstellen im Festgestein ausgebaut. Weitere 28 Grundwassermessstellen erschließen in unterschiedlichen Gebieten einen tieferen Grundwasserleiter. Somit befinden sich insgesamt 268 Grundwassermessstellen in dem jeweils oberen Porengrundwasserleiter, der für die Bewertung der Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Grund- und (mit zeitlicher Verzögerung resultierend) die Rohwasserbeschaffenheit besonders geeignet ist. Falls vorhanden, konnten diese Angaben mit den Schichtenverzeichnissen und Ausbauplänen verifiziert werden.

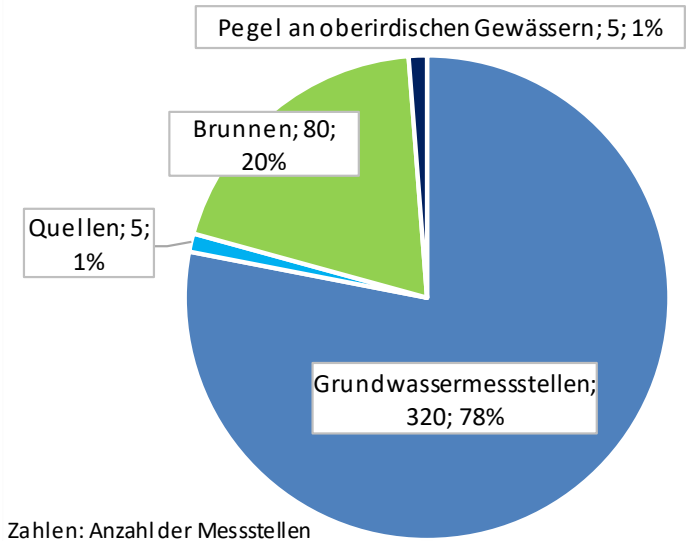


Abbildung 29: Anteil nach der Messstellenart in den 18 Wasserschutzgebieten

Abbildung 30 gibt die Länge der Filterstrecken wieder. Dabei gilt, je länger der Filter, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass Abschnitte innerhalb eines Grundwasserleiters mit unterschiedlichen hydraulischen und / oder hydrochemischen Milieu sowie unterschiedlichen Landnutzungseinflüssen erfasst werden. Innerhalb eines Grundwasserleiters finden sich in der oberen oxidierten Zone Sauerstoff und Nitrat, während in der tieferen reduzierten Zone kaum noch Sauerstoff vorhanden ist, so dass der natürliche Nitratabbau (Denitrifikation) zunimmt.

Ist eine Grundwassermessstelle über beide Zonen verfiltert, variiert der Anteil der redoxsensitiven Parameter je nach Entnahmetiefe der Grundwasserprobe. Wie in Abbildung 30 zu sehen, ist der Anteil kurzer Filterstrecken bis 5 m (39% der Messstellen) und langer Filterstrecken (38% der Messstellen)

nahezu identisch. Für einige Grundwassermessstellen fehlen die Angaben zur Filteroberkante (23%), so dass sie nicht ausgewertet werden konnten.

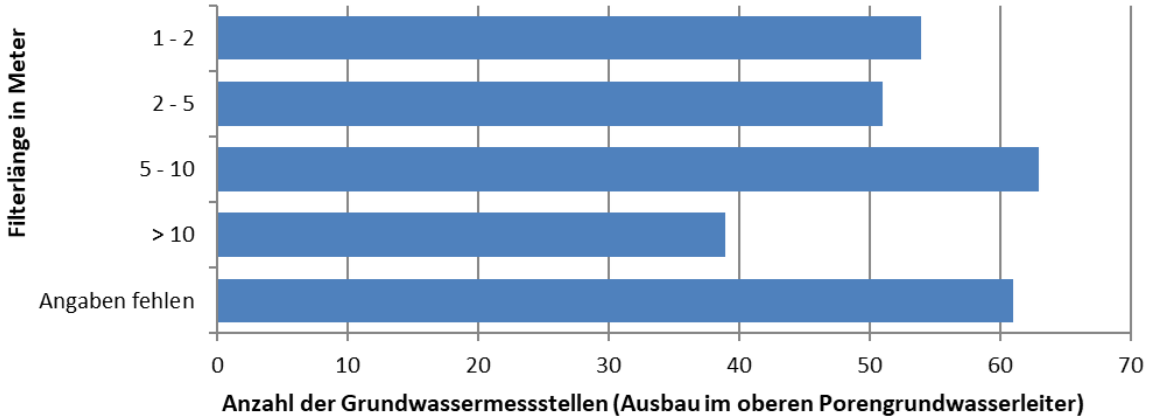


Abbildung 30: Übersicht zur Länge des Filters der in oberen Porengrundwasserleitern ausgebauten Grundwassermessstellen

Der Abstand der Filteroberkante zur Grundwasseroberfläche gibt wegen der Redoxzonierung der Grundwasserleiter einen ersten Hinweis auf das wahrscheinlich vorliegende Redoxmilieu und die damit auftretende Stickstoffverbindung. Wie in Abbildung 31 zu sehen, dominieren überwiegend geringe Abstände bis hin zu einer Belüftung des Filters. Unter Nichtberücksichtigung der Grundwassermessstellen mit fehlenden Angaben beträgt bei 50% der Messstellen der Abstand der Filteroberkante zur Grundwasseroberfläche maximal zwei Meter. Bei 41% liegt der Abstand zwischen zwei und zehn Metern und nur für 9% der Messstellen bei mehr als zehn Metern.

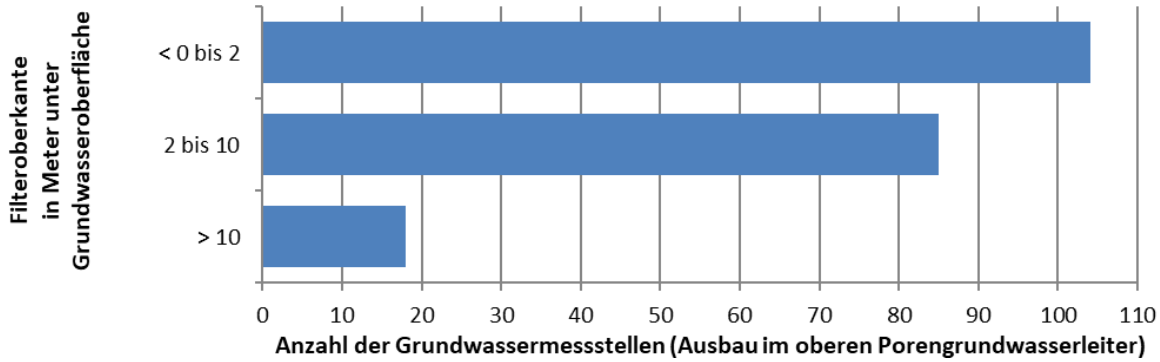


Abbildung 31: Übersicht zur Lage der Filteroberkante unterhalb der Grundwasseroberfläche der in einem oberen Porengrundwasserleiter ausgebauten Grundwassermessstellen

Zusätzlich zu den von den Wasserversorgern ermittelten Messstellen wurden beim LANUV Grundwassermessstellen aus dem WRRL-Gütemessnetz abgefragt. Diese in möglichst unmittelbarer Nähe aber außerhalb des Kooperationsgebiets befindlichen Messstellen dienen als sog. „Referenzmessstellen“. Die Kriterien einer oberflächennahen Verfilterung und einer ausreichenden Zeitreihe wurden hier ebenso angewandt. Abbildung 32 zeigt eine Übersicht der Referenzmessstellen pro Wasserschutzgebiet. In einigen Wasserschutzgebieten wie beispielweise Breyell, Lobberich und Dülken, welche sehr nahe beieinanderliegen, wurden jeweils dieselben Messstellen als Referenz herangezogen. Daneben sind die von den Wasserversorgern übermittelten auswertbaren Messstellen, die sich außerhalb des Kooperationsgebiets befinden, dargestellt.

Die Kartendarstellungen der ausgewerteten Grundwassermessstellen inkl. der Referenzmessstellen befinden sich in den Anlagen 10.2.1 bis 10.2.17.

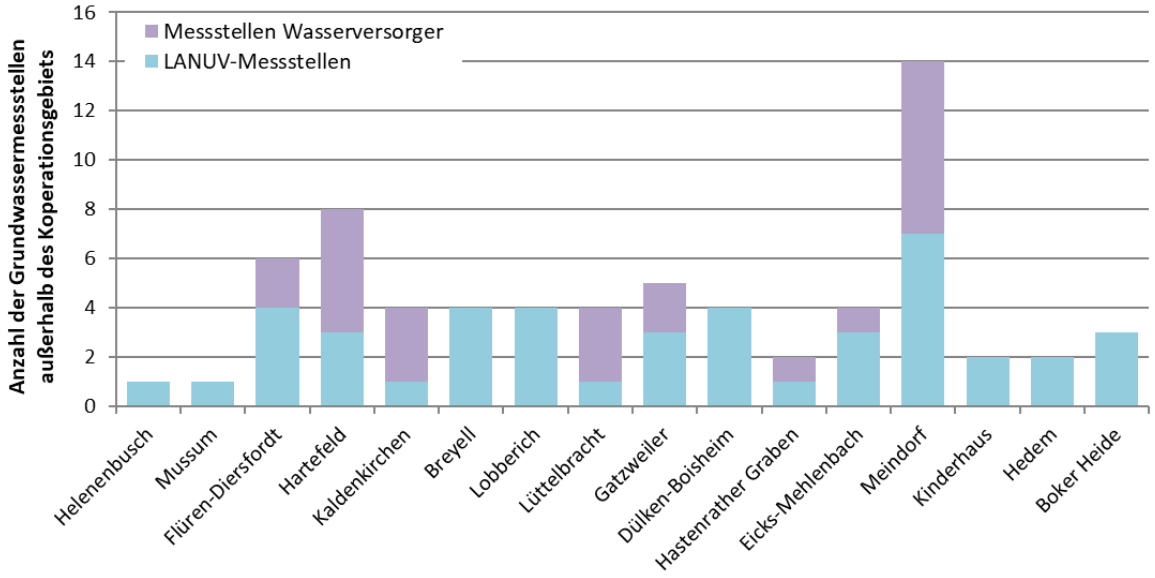


Abbildung 32: Übersicht zu den Referenzmessstellen pro Wasserschutzgebiet

5.2.2 Informationen zur Grundwasserdynamik

Aus dem Grundwassergleichenplan lassen sich die Grundwasserfließrichtung, welche quer zu den Grundwassergleichen von hohen zu niedrigen absoluten Werten verläuft, und das hydraulische Gefälle, welches die Grundwasserfließgeschwindigkeit mit beeinflusst, bestimmen. Aufgrund saisonaler und räumlicher Variabilitäten der Grundwasserstände können sich Grundwasserfließrichtungen ändern. Abweichungen von einigen Grad liegen im natürlichen lokalen Schwankungsbereich (Hannappel & Köpp 2017), wodurch sich unterirdische Einzugsgebiete bzw. Zustromgebiete von Grundwassermessstellen verschieben können. Der Grundwassergleichenplan stellt eine regionale Übersicht für einen Grundwasserleiter dar. Kleinräumig treffen die großskaligen hydraulischen Verhältnisse jedochnicht immer zu und sind daher ein zu berücksichtigender Unsicherheitsfaktor.

Der landesweite Grundwassergleichenplan des LANUV von 1988 wurde in den meisten Fällen von den jeweiligen Wasserversorgern um aktuelle Gleichenpläne, zum Teil auch für verschiedene Jahre, ergänzt. Für das WSG Untere Sieg / Meindorf z. B. wurden 17 Gleichenpläne aus dem Zeitraum 2001 bis 2015 übergeben. Durch die Übermittlung sowohl der April- als auch der Oktobergleichenpläne eines Jahres war die saisonale Variabilität der Grundwasserfließrichtung erkennbar. Dies gilt insbesondere in der Nähe von Flüssen, bei denen sich saisonal wechselnd influente oder effluente Verhältnisse für das Grundwasser ausbilden können.

Zumeist wurden die Grundwasserstände (Abstichsdaten) nur für die übermittelten Grundwassergleichenpläne mitgeliefert. Für einige Gebiete wie z. B. Mussum (Abbildung 33) liegen aber auch langjährige Datenreihen vor. Exemplarisch sind die saisonalen Schwankungen in den oberflächennah verfilterten Grundwassermessstellen zu erkennen, sowie in diesem Gebiet zusätzlich ein langjähriger Anstieg der Grundwasserstände in den vergangenen Jahrzehnten.

5.2.3 Abflussdaten oberirdischer Gewässer

Daten zu Abflüssen in oberirdischen Gewässern waren lediglich für die Gebiete der Kerspetalsperre und der Funne im Stever-Einzugsgebiet relevant. Die Abflussdaten der Funne wurden vom Wasserversorger (Gelsenwasser AG) für den Zeitraum 2008 bis 2018 geliefert. Dabei handelte es sich um Tagesmittelwerte der Abflüsse in der Funne am Pegel Selm. Mit Hilfe der Daten konnten Frachten relevanter PSM-Wirkstoffe ermittelt werden.

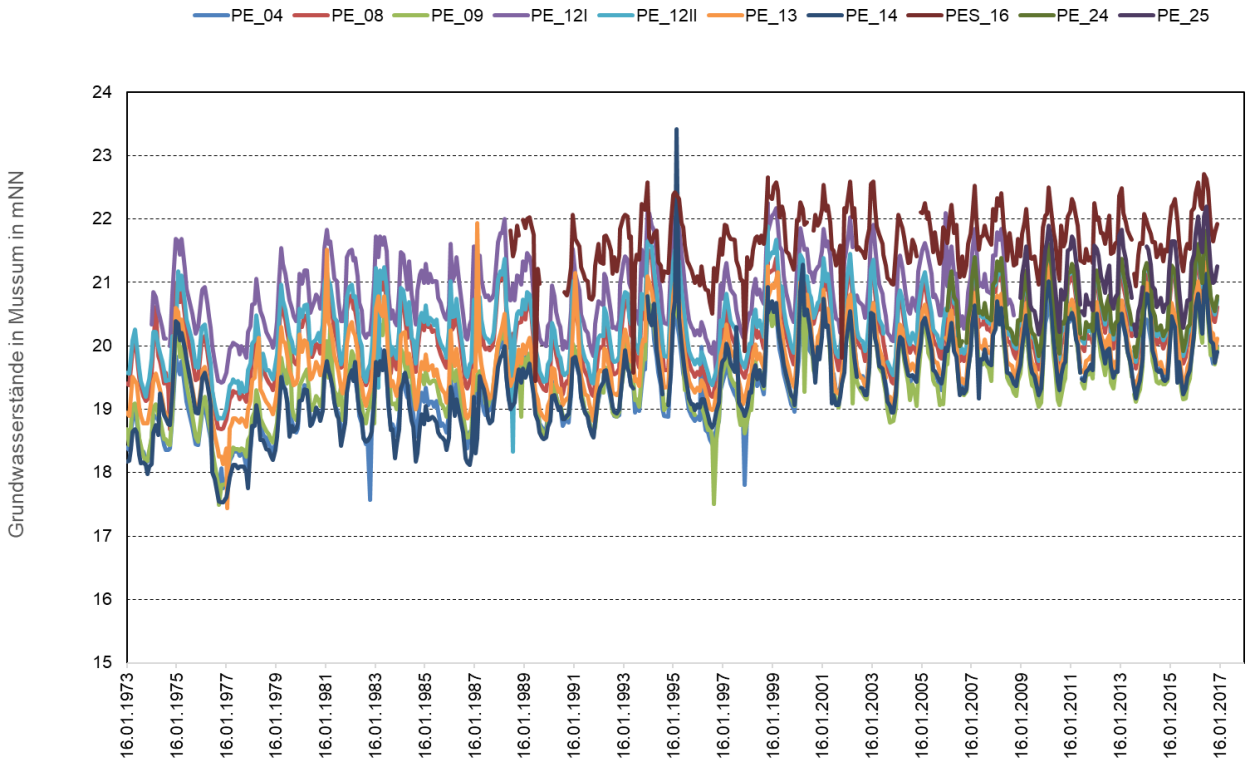


Abbildung 33: Grundwasserganglinien im WSG Mussum

Für das Kooperationsgebiet der Kerspetalsperre wurden Abflüsse aus einem Niederschlags-Abfluss-Modell für diverse Teilgebiete vom Wasserversorger (Wupperverband) für den relevanten Zeitraum 2006 bis 2017 bereitgestellt. Für die einzelnen Teileinzugsgebiete wurden stündliche Werte von Abflüssen bzw. Abflussspenden geliefert, die als Grundlage zur Ermittlung von Nitratfrachten dienten.

5.2.4 Nährstoffkonzentrationen in oberirdischen Gewässern und im Grundwasser

Die Datenbereitstellung von Nährstoffkonzentrationen im Grundwasser erfolgte auf Anfrage bei den Wasserversorgern. Der Fokus lag dabei auf der Auswertung von Nitratdaten. Im Datenumfang zeigten sich je nach Kooperationsgebiet sehr große Unterschiede in Bezug auf die Vollständigkeit mit teilweise gravierenden Datenlücken von mehreren Jahren, die Zeiträume, der zeitlichen Auflösung (zweijährlich bis monatlich) und hinsichtlich der räumlichen Auflösung (Anzahl der Messstellen und Verteilung). Eine Übersicht zur Qualität der Nitratdatensätze liefert Tabelle 6.

Tabelle 6: Anzahl Datensätze für Nitrat in Kooperationsgebieten mit Grundwassergewinnung

WSG	Anzahl GWM	Messbeginn	Messdaten bis	Intervall	Vollständigkeit
Helenenbusch	29	1998 - 2005	2018	jährlich	weitestgehend vollständig
Mussum	6	1995 - 2009	2016	halbjährlich	vollständig
Flüren-Diersfordt	14	1996 - 2005	2018	jährlich	Datenlücken 1997 - 2004, 2014 - 2016 (Brunnen)
Hartefeld	54	2003	2016	jährlich	weitestgehend vollständig
Kaldenkirchen	19	1988	2017	jährlich bis halb-jährlich	weitestgehend vollständig
Breyell	7	1987 - 2006	2017	jährlich	weitestgehend vollständig
Lobberich	18	überwiegend 1986 - 1990	2017	jährlich	weitestgehend vollständig

Lüttelbracht	18	1988 - 2002	2017	jährlich	weitestgehend vollständig
Gatzweiler	49	1986 - 2007	2015 - 2017	halbjährlich bis vierteljährlich	weitestgehend vollständig
Dülken-Boisheim	15	1987 - 1999	2017	jährlich	weitestgehend vollständig
Hastenrather Graben	14	2007	2016	halbjährlich	Datenlücken 2013
Eicks-Mehlenbach	15	1990 - 1992	2017	jährlich bis monatlich	weitestgehend vollständig
Meindorf	39	1986 - 1996	2016	halbjährlich bis monatlich	Datenlücken 2001
Kinderhaus	7	2000	2016	halbjährlich bis monatlich	weitestgehend vollständig
Hedem	7	1991	2016	jährlich bis halb-jährlich	Datenlücken 2000 - 2008
Boker Heide	13	2005	2016	halbjährlich	vollständig

5.2.5 *Weitere hydrochemische Indikatorparameter des landwirtschaftlichen Einflusses*

Häufig wurden seitens der Wasserversorger Daten zu physiko-chemischen Parametern und den Hauptinhaltsstoffen (Vollanalysen) für die Untersuchungen bereitgestellt. Bezüglich des Parameterumfangs zeichneten sich jedoch große Unterschiede ab. Häufig wurden Vollanalysen (Hauptinhaltsstoffe und physiko-chemische Parameter) bereitgestellt, vereinzelt jedoch auch lediglich Nitratdaten, sodass auf einen Teil der möglichen Untersuchungen verzichtet werden musste.

Die Vollanalysen liefern wichtige Informationen zu Stoffeinträgen (z. B. Nitrat, Chlorid, Sulfat, Kalium, PSM) und zeigen die Intensität der landwirtschaftlichen Flächennutzung an. Des Weiteren konnten häufig Ganglinien hydrochemischer Leitparameter (Nitrat, Hydrogencarbonat, pH, Sulfat, Chlorid, molares Sulfat-Chlorid-Verhältnis, Eisen) verwendet werden, um Aussagen zum Nitratabbaupotential im Grundwasserleiter treffen zu können. Abbildung 34 zeigt exemplarisch eine Ganglinienschar für den

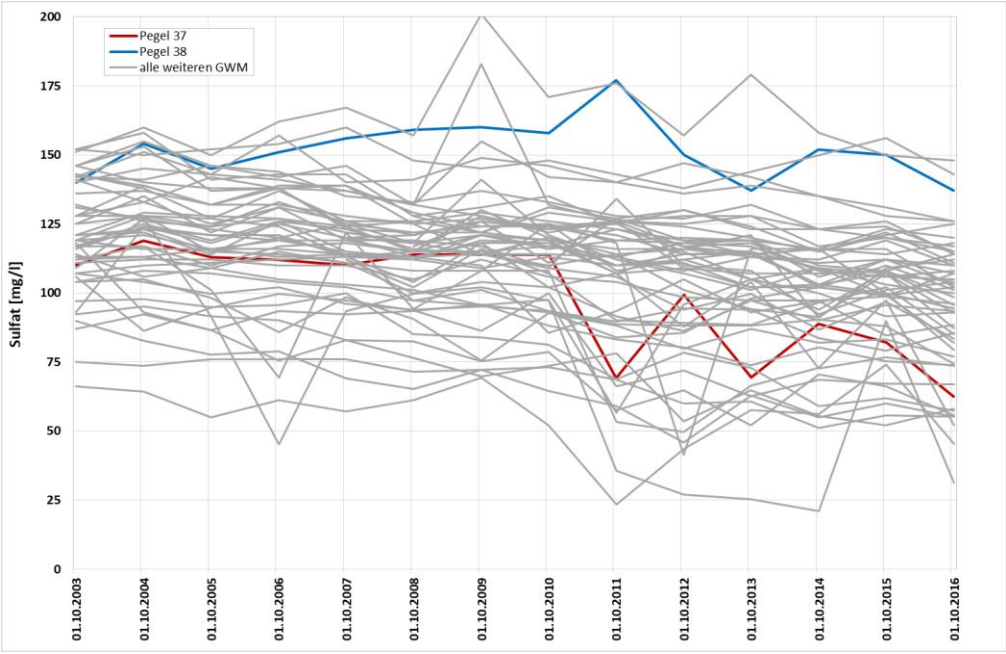


Abbildung 34: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von Sulfat im Grundwasser in einem Wasserschutzgebiet

Parameter Sulfat in einem WSG mit einer stagnierenden Phase bis 2010 und einer Abnahme ab 2011, die potentielle Informationen zur Eintragssituation und dem Nitratabbau birgt, die sich überlagernd auf die Sulfatkonzentrationen auswirken können. Für genauere Aussagen ist die Analyse weiterer Parameter erforderlich.

5.2.6 Konzentrationen von Pflanzenschutzmitteln in oberirdischen Gewässern

Zu Konzentrationen von Pflanzenschutzmitteln wurden für diverse Kooperationsgebiete Daten seitens der Wasserversorger bereitgestellt, wobei der Analyseumfang stark variierte und nicht immer dem Untersuchungsziel entsprach (z. B. Eicks-Mehlenbach). Da der Untersuchungsbedarf von PSM zudem in vielen Gebieten einer umfassenden Untersuchung der Nitratentwicklung untergeordnet wurde, beschränkte sich die Auswertung von PSM in der vorliegenden Studie auf das Einzugsgebiet der Funne im Kooperationsgebiet der Talsperre Halterner See.

Für die Funne bestehen hinsichtlich der Datenlage sehr gute Voraussetzungen für eine detaillierte Analyse von PSM im oberirdischen Gewässer, da an einer Probenahmestelle mit einer automatischen Probenentnahme hydrochemische Daten zu den Konzentrationen von PSM im wöchentlichen Intervall zur Verfügung stehen, die zugleich auch im Rohwasser des Wasserversorgers in der Talsperre Haltern gemessen werden. Des Weiteren wurden für die bekannten Maisanbaugebiete im gesamten Einzugsgebiet der Probenahmestelle, die auf Empfehlungen beruhenden Anwendungsmengen der PSM mit den jeweiligen Problemstoffen wie auch die Maisanbauflächen recherchiert, auf denen aufgrund von Substitutionsmaßnahmen andere Stoffe bzw. Behandlungen angewendet wurden.

5.3 Akzeptanzanalyse für die Kooperationsarbeit

Jenseits der Frage nach den Minderungswirkungen von Gewässerschutzmaßnahmen ist die Bereitschaft der relevanten Akteure – in diesem Fall der Kooperationslandwirte –, gewisse Maßnahmen umzusetzen, eine Kernfrage für freiwillige Maßnahmenprogramme. Im Rahmen dieser Studie wurde mittels einer Online-Befragung eine Akzeptanzanalyse unter den Landwirten der an der Studie teilnehmenden Kooperationen durchgeführt. Diese Analyse untersucht, welche Faktoren die Akzeptanz der Landwirte für die Kooperationsarbeit insgesamt und die Gewässerschutzmaßnahmen bzw. Beratung im Einzelnen beeinflussen.

Die Online-Befragung wurde vom 29. Mai bis zum 16. Juli durchgeführt.[11] Sowohl Kooperationsberater als auch Wasserversorger wurden von der Umfrage in Kenntnis gesetzt, mit der Bitte die Befragung an die Kooperationslandwirte weiterzuleiten und sie aufzufordern daran teilzunehmen. Dabei wurde betont, dass aus Datenschutzgründen die Umfrage vollständig anonymisiert ist und sie keine Pflichtfragen beinhaltet.

Insgesamt wurden 178 ausgefüllte Fragebögen eingesendet. Dabei enthielten 16 Fragebögen nur Angaben zum Betrieb (es wurden lediglich die Fragen aus „Teil 1“ beantwortet, s. Kapitel 6.5) und worunter einer zu unvollständig war, um bei der Bewertung berücksichtigt zu werden. Demnach konnten insgesamt 161 Fragebögen in die Analyse aufgenommen werden; 149 davon können als vollständig betrachtet werden, da die Landwirte hier die letzte (fünfte) Webpage erreicht und die für Sie relevanten Fragen beantwortet haben.

Da die Umfrage keine Pflichtfragen beinhaltete, gab es für jede der 24 Fragen eine unterschiedliche Anzahl an Antworten. Für geschlossene Fragen (Skalenfragen, Einfachwahlfragen, Mehrfachwahlfragen) wurden weitestgehend über 140 Antworten abgegeben. Offene Fragen dagegen, in denen z. B. Ideen für Verbesserungsvorschläge abgefragt wurden, erhielten lediglich ca. 10 Antworten.

Ausführungen zur Methodik finden sich in Kapitel 6.5 und die Ergebnisse der Analyse in Kapitel 7.3. Der angewendete Fragebogen befindet sich im Anhang 10.4.

[11] Für eine der 20 teilnehmenden Kooperationen wurde die Umfrage getrennt durchgeführt, unter einer unterschiedlichen Webadresse. Diese Umfrage, mit identischem Inhalt, fand vom 18. Juli bis zum 7. August statt.

6 Methodische Vorgehensweise

6.1 Analyse landwirtschaftlicher Datenbestände

Die Evaluierung von Gewässerschutzmaßnahmen muss durch eine Zielgröße erfolgen, die durch die Maßnahmen verbessert werden soll. Wenngleich der Stickstoffgehalt des Grundwassers die für den Gewässerschutz relevante Kenngröße ist, ist er für die Bewertung von kleinskaligen flächenbezogenen Maßnahmen nur bedingt geeignet. Das liegt zum einen an der zeitlichen Abfolge zwischen Maßnahmenumsetzung und Auftreten des Effektes im Grundwasser, zum anderen an der Mischung von Sickerwässern unterschiedlicher Jahre in der ungesättigten Zone und Vermischungen von Wässern im Grundwasser und in der Messstelle. Messungen von Sickerwasserkonzentrationen haben diese Defizite nicht, aufgrund ihrer Kostenintensität und des hohen Aufwands stehen für das Sickerwasser allerdings keine umfangreichen Datensätze zur Verfügung.

Mehrjährige Stickstoffbilanzierungen auf Betriebs- und/oder regionaler Ebene werden in der Fachliteratur als wichtige Kenngröße für eine Gesamtbewertung des Systems gehalten und folglich auch in der Erfolgskontrolle eingesetzt. Allerdings weisen auch diese Kenngrößen Probleme auf, um als Indikatoren für die Bewertung von Maßnahmenwirkungen auf Einzelflächen zu fungieren. Schmidt und Osterburg (2010) stufen die begrenzte Datenverfügbarkeit und eine eingeschränkte Belastbarkeit der betrieblichen Ausgangsdaten als problematisch für die Bewertung von Maßnahmenwirkungen ein. Auch die zahlreichen Annahmen, die in eine Stickstoffbilanz einfließen, stellen bei der Maßnahmenbewertung ein Problem dar. Dazu kommt, dass Wirkungen auf die betrieblichen N-Salden von Maßnahmen auf Einzelflächen nur eingeschränkt nachweisbar sind (vgl. Kapitel 3.1, Schmidt und Osterburg 2010).

In dieser Studie wird dem Ansatz gefolgt, dass zum Zwecke einer Wirkungsbewertung von flächenbezogenen Maßnahmen, wie z. B. für die Maßnahmenplanung der „ergänzenden“ Maßnahmen der Wasserrahmenrichtlinie erforderlich, die Herbst-N_{min}-Werte gut geeignet sind, da sie objektive und flächenbezogen erhobene Messgrößen sind (Schmidt & Osterburg, 2010; Schmidt et al. 2007).

Die Analyse des Herbst-N_{min}-Gehaltes zum Ende der Vegetationsperiode ist eine bewährte Methode zur Überprüfung der Auswirkungen von Gewässerschutzmaßnahmen. Das Verfahren findet in zahlreichen Kooperationen in NRW Anwendung. Darüber hinaus ist es unter anderem in Niedersachsen und in Baden-Württemberg weit verbreitet und wird dort großflächig zum Monitoring von Maßnahmen in Trinkwasserschutzgebieten angewendet (NLWKN 2012, LTZ 2017, Finck und Übelhör 2010).

Der Herbst-N_{min}-Wert ist der gemittelte mineralische Stickstoff (in kg N/ha) einer im Spätherbst beprobten landwirtschaftlichen Fläche. Im Idealfall werden sowohl Nitrat- als auch Ammoniumstickstoff gemessen; aufgrund der oft sehr geringen Ammoniumstickstoff-Gehalte, beinhalten Datensätze oft nur Angaben für $N\text{-}NO_3^-$. Dabei wird die Messung auf drei Tiefenhorizonten durchgeführt: 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm. Es gibt einige Herausforderungen bei dieser Methodik, wie z. B. der Zeitpunkt der Probenahme und der generelle Einfluss der Meteorologie (z. B. Sommertrockenheit, frühe Herbstniederschläge) auf die gemessenen Werte. Nichtsdestotrotz ist diese Methode die am weitesten verbreitete Methode zur Effizienzkontrolle von stickstoffmindernden Gewässerschutzmaßnahmen in Deutschland (vgl. DWA 2013). N_{min}-Gehalte von Schlägen werden auch zu anderen Jahreszeiten ermittelt und dienen dann zumeist zur Düngeplanung und / oder zur Beratungsunterstützung.

In den an der Studie teilnehmenden WSG gibt es zahlreiche Kooperationen, die systematisch und im großen Umfang Herbst-N_{min}-Werte für diejenigen landwirtschaftlichen Flächen erheben, auf denen Maßnahmen umgesetzt werden. Diese Daten wurden im Rahmen des Gutachtens anhand von drei primärer Fragestellungen ausgewertet: Der Stickstoffbelastung des beprobten Gebietes, dem Zusammenhang von Herbst-N_{min}-Werten mit den angebauten Kulturen und der Wirkungsschätzung einzelner Maßnahmen / der Kooperationsarbeit insgesamt. Die methodischen Vorgehensweisen werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

6.1.1 Flächengewichtete Herbst-N_{min}-Werte als Indikator der mittleren Stickstoffbelastung im Herbst

Für eine Darstellung der mittleren Stickstoffbelastung der beprobten Gebiete (überwiegend Teilgebiete eines WSG, in wenigen Fällen Gesamtgebiete) wurden flächengewichtete Mittelwerte erstellt. Dafür wurden die Herbst-N_{min}-Werte aller beprobten Flächen mit ihrer jeweiligen Größe multipliziert und durch die Summe der Größe aller Flächen dividiert. Mit dieser Methode gehen die Herbst-N_{min}-Werte anteilig nach der Größe der ihr zugehörigen landwirtschaftlichen Flächen in die Berechnung ein. Der flächengewichtete Mittelwert ist besser geeignet für flächenbezogene Analysen, wie z. B. die Schätzung der mittleren Stickstoffbelastung aufgrund flächengewichteter Herbst-N_{min}-Werte, als es der Median oder der arithmetische Mittelwert sind (NLWKN, 2003).

In einigen Gebieten wurden aufgrund von Datenschutzbedenken keine Flächengrößen übermittelt. Hier wurden die arithmetischen Mittelwerte verwendet, wodurch kleine und große Flächen mit gleicher Gewichtung in den Mittelwert eingehen und Aussagen zur Grundbelastung somit weniger präzise sind. Die somit berechneten Mittelwerte flossen auch in die Bewertung der Nitratdaten im Grundwasser ein. Sie werden mit diesen zusammen bewertet, u. a. in Kapitel 8 in Tabelle 15.

6.1.2 Zusammenhang zwischen angebauten Kulturen und Herbst-N_{min}-Werten

Die Herbst-N_{min}-Werte eines Gebietes wurden auch anhand der Kulturen ausgewertet, die in dem Jahr der Probenahme als Hauptfrucht auf den jeweiligen Schlägen angebaut wurden. Es gibt zum einen kulturbedingte Einflüsse auf die Stickstoffgehalte im Boden (z. B. Art der Düngung, Menge und Zersetzbarkeit der Ernterückstände, Erntetermin), zum anderen Unterschiede in der Bewirtschaftung (z. B. typische Bearbeitungsvorgänge nach dem Anbau der Kultur), die die im Spätherbst mineralisierte Stickstoffmenge im Boden prägen.

Es wurden für jedes Gebiet die arithmetischen Mittelwerte der am häufigsten angebauten Kulturen Ackergras, Grünland, Kartoffeln, Zuckerrüben, Mais, Wintergerste und Winterweizen berechnet und in den gleichen Kategorien dargestellt. Bei dieser Auswertung wurde der arithmetische Mittelwert herangezogen, da somit Aussagen über die Grundmenge der auf den unterschiedlichen Schlägen gemessenen Werte getroffen werden sollten, ohne das die Gewichtung der Schlaggröße in die Auswertung einfließt. Somit wird gewährleistet, dass jeder Schlag gleichwertig als Beispiel einer Bewirtschaftungsform für diese Kultur behandelt wird. Sein Herbst-N_{min}-Wert fließt mit jeweils gleicher Geltung in den Mittelwert ein als Beispiel eines unter den jeweilig geltenden Bedingungen erreichten Rest-N_{min}-Wert im Spätherbst.

Um die gegenwärtige Situation bestmöglich abbilden zu können, wurden jeweils die Mittelwerte der letzten vier Jahre (2014 – 2017) für die sieben oben genannten Kulturen (sofern im Gebiet angebaut) zusammengefasst. Mit Berücksichtigung der Daten dieses Zeitraums konnte gewährleistet werden, dass zum einen ausreichend Werte für die Auswertung vorhanden sind und zum anderen die meteorologischen Auswirkungen auf die Höhe der Herbst-N_{min}-Werte einzelner Jahre etwas ausgeglichen werden können. Mehrjährige Mittelwerte für Herbst-N_{min}-Daten sind ein weitverbreitetes Verfahren, um jahresbedingte Effekte zu glätten, die vor allem mit der Witterung zusammenhängen (vgl. Finck und Übelhör, 2010).

In einigen Gebieten, in denen ein relativ hoher Anteil an Winterraps oder Gemüse vorlag, wurden zusätzlich die Durchschnittswerte von Winterraps und der Kulturengruppe Gemüse berechnet und dargestellt.

6.1.3 Schätzung der Maßnahmenwirkung – Vergleich von Flächen im WSG mit und ohne Maßnahmen

Die Bestimmung der durch die eingesetzten Maßnahmen entstehenden Minderungswirkung der Herbst-N_{min}-Werten wird im Idealfall anhand eines „Mit-Ohne-Vergleichs“ durchgeführt. Hierzu werden identische Schläge mit vernachlässigbaren Bodenunterschieden und gleicher Bewirtschaftungshistorie, im gleichen Jahr, jeweils mit und ohne Maßnahme miteinander verglichen. Daten aus der land-

wirtschaftlichen Praxis erfüllen diese idealen Bedingungen nicht, wodurch die Ergebnisse solcher Analysen aufgrund Daten dieser Art mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren sind (Schmidt und Osterburg, 2010).

In dieser Studie werden im Sinne dieser Herangehensweise die Grundmengen von Herbst-N_{min}-Werten für Flächen mit gleicher Vorfrucht, mit und ohne Maßnahme, im gleichen Jahr und im gleichen WSG (um die regionale Verteilung der Werte zu begrenzen) verglichen. Weitere wichtige Faktoren wie Betriebstyp, Bodenart und Nitrataustragsgefährdung konnten aufgrund fehlender Daten (u. a. das Ergebnis fehlender räumlicher Bezüge im Zuge der Anonymisierung der übermittelten landwirtschaftlichen Daten) nicht berücksichtigt werden, was die Belastbarkeit der Ergebnisse schmälert. Diese Methodik zur Wirkungsschätzung entspricht in weiten Teilen den Ansätzen von Schmidt et al. (2007) und Schmidt und Osterburg (2010), wobei diese Studien auf einen weit umfangreicheren Datensatz zurückgreifen konnten, der darüber hinaus Parameter wie Bodenart und Betriebstyp berücksichtigte. Die Ergebnisse dieser Studie haben folglich keine vergleichbare Robustheit zu den obengenannten Studien. Dies sollte bei der Interpretation der Studienergebnisse berücksichtigt werden.

In zwei Gebieten war die Datengrundlage hinreichend detailliert, um eine Schätzung der Wirkung von zwei Varianten der Flächenmaßnahme „Zwischenfruchtanbau“ zu leisten (WSG Weiler und Zündorf). Auf Basis des übermittelten Datensatzes konnte eine kurze Zwischenfrucht zwischen zwei Winterungen (als „60-Tage-Zwischenfrucht“ in diesen WSG bekannt) und eine Zwischenfrucht vor einer Sommerung analysiert und bewertet werden.

Die Stickstoff-Aufnahmefähigkeit einer Zwischenfrucht variiert zum einen von Jahr zu Jahr, u. a. aufgrund der Witterung, zum anderen wird sie in vielerlei Hinsicht von der Vorfrucht beeinflusst, z. B. in Hinsicht auf verfügbaren Bodenstickstoff und Erntetermin, der den Aussaattermin der Zwischenfrucht und somit die Länge ihrer Vegetationszeit beeinflusst (LWK NRW, 2017c). Darüber hinaus werden auch die in einer Region üblichen Bearbeitungsgänge für im Herbst brachliegende Flächen, die die Vergleichsflächen zu einer Fläche mit Zwischenfruchtanbau bilden, durch die Vergleichswerte Einfluss auf die geschätzte Minderungswirkung haben. Auch die Art der Düngung, insbesondere die Höhe der organischen Düngung und die damit verbundene Mineralisationsleistung des Bodens, beeinflussen die Werte. In Abbildung 35 und Abbildung 36 wird dargestellt, wie die Wirkung für eine Zwischenfrucht vor Sommerung im WSG Weiler geschätzt wurde.

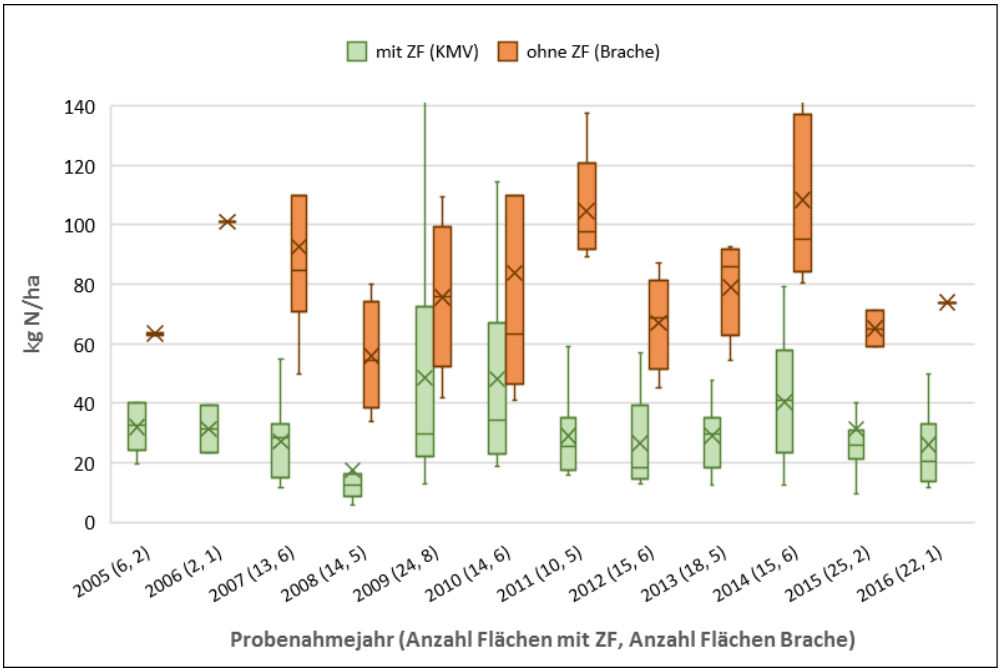


Abbildung 35: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte für Schläge mit Winterweizen und Wintergerste als Hauptfrucht des Probenahmejahres und nachfolgender Sommerung, mit Zwf. (KMV) und brachliegend – WSG Weiler (2005 – 2016).

Abbildung 35 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte für Flächen mit Hauptfrucht Wintergerste und Winterweizen im Probenahmejahr mit Zwischenfrucht (im Mulchsaatverfahren) und ohne (brachliegende Flächen). In dieser Betrachtung wurden die Werte für diese zwei Getreidearten zusammengelegt, da sie für ähnliche Kulturübergänge (also z. B. Wintergetreide nach Wintergetreide, Sommerung nach Wintergetreide) ähnliche Werte in den zwei WSG aufweisen. Die Unterschiede in den ermittelten Durchschnittswerten für diese Kulturen liegen in der Regel in der unterschiedlichen Häufigkeit dieser Kulturübergänge für die jeweilige Kultur, aufgrund der Stellung in den typischen Fruchtfolgen des jeweiligen Gebiets. Abbildung 35 zeigt die jahresabhängigen Schwankungen der Herbst-N_{min}-Werte für beide Arten von Flächen. Unterschiede zwischen den Werten der zwei Flächengruppen zeigt Abbildung 36.

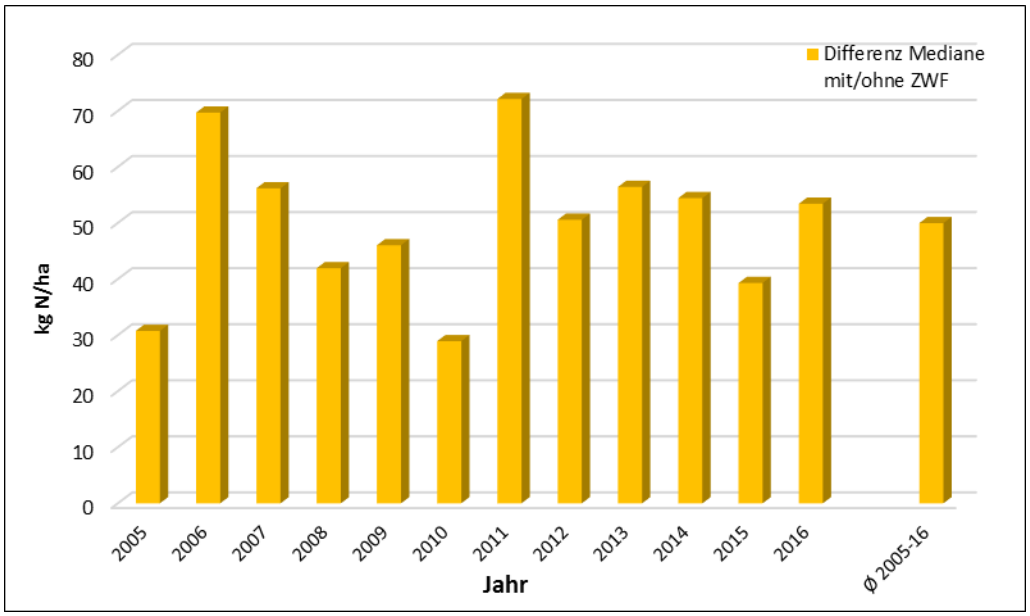


Abbildung 36: Unterschied der Mediane der Grundmengen Getreideflächen mit Zwischenfruchtanbau (KMV) / ohne Zwischenfruchtanbau pro Jahr – WSG Weiler (2005-16)

Die in Abbildung 36 dargestellten Unterschiede liegen je nach Jahr zwischen 30 und 70 kg N/ha. Diese Schwankungen sind das Ergebnis zahlreicher Faktoren, insbesondere des oben aufgeführten, jahresabhängigen Unterschieds in der N-Aufnahmefähigkeit der Zwischenfrüchte (LWK NRW 2017c). Aufgrund vorliegender Abweichungen bei den mehrjährigen Mittelwerten zwischen Flächen mit Zwischenfrüchten im Mulchsaatverfahren und brachliegenden Flächen wurde eine Wirkungsschätzung für die Maßnahme „Zwischenfrüchte im Mulchsaatverfahren“ für dieses Gebiet geleistet, der in diesem Fall bei 49,9 kg N/ha liegt (vgl. letzte Säule in Abbildung 36 mit durchschnittlicher Abweichung zwischen 2005 – 2016). Diese Zahl wird mit weiteren Ergebnissen und mit den Werten aus der Literatur verglichen, um zu einer Schätzung für die Bandbreite der Maßnahme „Zwischenfruchtanbau“ in den untersuchten Kooperationen zu gelangen (vgl. Kapitel 8.1.2).

In den Fällen, in denen die n-Zahl für die einzelnen Jahre zu gering war, wurden die Werte für die unterschiedlichen Arten von Schlägen aggregiert miteinander verglichen, ohne dabei die jährlichen Schwankungen zu berücksichtigen. Die Ergebnisse des aggregierten Vergleiches unterscheiden sich nur leicht von dem disaggregierten Vergleich. Abbildung 37 zeigt den aggregierten Vergleich der Werte aus Abbildung 36, der ohne jährliche Unterscheidung bei 56 kg N/ha liegt. Dies entspricht somit einem 6 kg N/ha höheren Wert als bei der Wirkungsschätzung des disaggregierten Vergleichs.

6.1.4 Schätzung der Minderungswirkung in einem WSG – Vergleich mit Flächen ohne Maßnahmen

Um zu einer Schätzung der Minderungswirkung, die in den einzelnen Kooperationen erreicht wird, zu gelangen wurde ein Ansatz mit einigen Gemeinsamkeiten zum oben dargestellten Verfahren zur Schätzung der Maßnahmenwirkung für flächenbezogene Maßnahmen angewandt. Es wurden - je

nach Kultur - Herbst-N_{min}-Werte für Flächen im WSG mit Herbst-N_{min}-Werten für Flächen ohne Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen (was einer „ordnungsgemäßen Landwirtschaft“ entspricht, vgl. LTZ 2017) verglichen. Diese Methodik zur Wirkungsschätzung entspricht in weiten Teilen den Ansätzen von Schmidt et al. (2007) und Schmidt und Osterburg (2010), welche u. a. in den Bewertungsansatz des NLWKN in Niedersachsen einfließen (NLWKN 2015a).

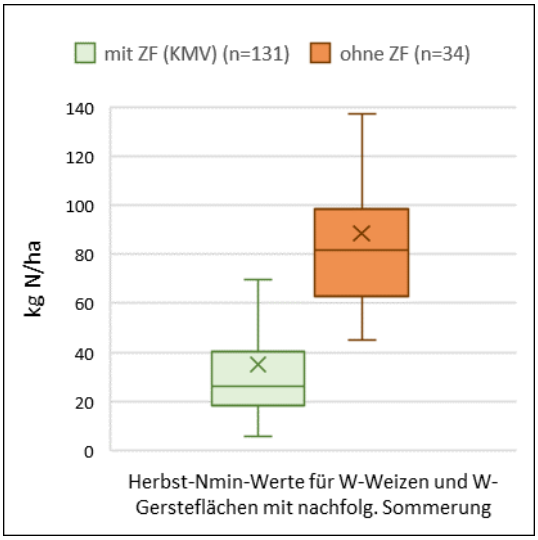


Abbildung 37: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte für Flächen mit Wintergerste und Winterweizen, mit und ohne Zwischenfrüchte (Mulchsaatverfahren) – WSG Weiler

Beim Vergleich von Herbst-N_{min}-Werten für Flächen im WSG mit denen für Flächen ohne Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen werden zwangsläufig die Wirkungen der mehrfachen Tätigkeiten und Ansätze der Kooperationsarbeit zusammengerechnet. Die Wirkungen unterschiedlicher betriebsbezogener Maßnahmen wie z. B.:

- die langjährige Beratung im Allgemeinen,
- Effekte einer womöglich vor Jahren stattgefundenen Erweiterung der Lagerkapazitäten,
- von dem Berater erstellte Nährstoffpläne für eine Auswahl an Betrieben,
- die Förderung des Gülleexports) und
- flächenbezogener Maßnahmen (u. a. Beratungsempfehlungen für die Kultur, der auf manchen Flächen für die jeweilige Kultur stattfindende Zwischenfruchtanbau, ggf. reduzierte N-Düngung

werden in dieser Schätzung der Minderungswirkung der Kooperationsarbeit zusammengerechnet.

In vielen der analysierten WSG wird ein Prämienmodell umgesetzt. Die Prämienförderung kann als eine Art „Meta-Maßnahme“ betrachtet werden, da sie zwar mit Auflagen verbunden ist und eine Reihe von Empfehlungen ausspricht (z. B. bzgl. der Bodenbearbeitung nach der Ernte), es jedoch dem Landwirt selbst überlässt, auf dem jeweiligen Schlag und für die jeweilige Kultur die Bewirtschaftungsform zu finden, die seine Herbst-N_{min}-Werte minimiert. Folglich fallen bei der Betrachtung der Herbst-N_{min}-Werte für eine Kultur in einem Gebiet mit Prämienförderung die Wirkung zahlreicher unterschiedlicher Handlungen und Bearbeitungsgänge zusammen, die nicht aufgeschlüsselt werden können, wie auch die Wirkung der immer vorhandenen Wasserschutzberatung. Aus Sicht der Gutachter kann die Maßnahme „Prämienförderung + Beratung“ als eine alleinstehende, besondere Art von Flächenmaßnahme betrachtet werden, da in Gebieten mit Prämienförderung weitere, über die Prämienförderung hinausgehende Flächenmaßnahmen eine sehr untergeordnete Rolle spielen.

Diese Art des Vergleichs ist sowohl für eine ungefähre Wirkungsschätzung für die Flächenmaßnahme „Prämienförderung + Beratung“ (für Gebiete mit Prämienmodell) als auch für die Kooperationsarbeit insgesamt (für Gebiete ohne Prämienmodell) geeignet. Dabei soll berücksichtigt werden, dass dieser

Ansatz die ungefähre Größenordnung der Minderungswirkung abschätzen soll und nicht dafür geeignet ist, die genaue Wirkung der Kooperationsarbeit in einer Kooperation zu ermitteln.

Eine Schwierigkeit für den Vergleich in NRW liegt in der geringen Zahl an Herbst-N_{min}-Werten für Flächen ohne Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen („Kontrastwerte“), also z. B. Schläge außerhalb von WSG bzw. Schläge, die nicht Teil von WRRL-Modellbetrieben sind. Zwar führt der Nitratdienst der LWK zusätzlich zur Frühjahrs-N_{min}-Kampagne monatliche N_{min}-Messungen auf ca. 90 Schlägen durch, allerdings liegen nur 30 Flächen davon außerhalb von WSG bzw. Modellbetrieben. Da ein Vergleich von Werten angestrebt wurde, die unter möglichst ähnlichen geografischen und landwirtschaftlichen Bedingungen erhoben wurden und alle mit diesem Ansatz bewerteten Wasserschutzkooperationen sich entweder in oder angrenzend an der RAG Niederrhein bzw. RAG Köln-Aachener Bucht befinden, wurden die Daten des Nitratdienstes für diese Art von Flächen in den zwei RAG ausgewertet. Für sieben Flächen wurden Daten über einen Zeitraum von 13 Jahren (2005 – 2017) für die Kulturen Ackergras, Grünland, Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen ausgewertet und aggregiert.

Für die wichtigen Kulturen Zuckerrüben (n=20), Wintergerste (n=19) und Winterweizen (n=35) konnten somit Kontrastwerte erstellt werden. Für die Kulturen Ackergras, Grünland, Kartoffeln und Mais wurden die n-Zahlen als zu gering betrachtet und Kontrastwerte mithilfe eines Datensatzes aus Niedersachsen gebildet (für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahme in WSG für den Zeitraum 2000 bis 2006). Die aus dem niedersächsischen Datensatz abgeleiteten Kontrastwerte für diese Kulturen wurden mit den vorhandenen Werten der Nitratdienst-Flächen verglichen und für plausibel gehalten. Alle Kontrastwerte wurden mit weiteren veröffentlichten Durchschnittswerten für diese Kulturen (u. a. NLWKN 2015a, Steinmann 2012) verglichen und wiederum für plausibel gehalten. Die aus diesen Grundmengen gebildeten Medianwerte pro Kultur sind in Tabelle 7 abgebildet.

Tabelle 7: Kontrastwerte (kulturspezifische Mediane für Flächen ohne Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen) für die Abschätzung der Maßnahmenwirkungen

Ackergras	Grünland	Kartoffeln	Mais	Zuckerrüben	Wintergerste	Winterweizen
26	32	75	78	51	77	80
NLWKN 2000-2006				RAG Niederrhein + Köln-Aachener Bucht		

Für die an der Studie teilnehmenden WSG wurden ebenfalls Mediane für die Herbst-N_{min}-Werte von Schlägen mit diesen Kulturen als Hauptfrucht (wenn im Gebiet angebaut) für den Zeitraum 2014 – 2017 ermittelt, um die aktuellen Ergebnisse der Kooperationsarbeit in die Wirkungsabschätzung einfließen zu lassen. Der Zeitraum ist mehrjährig, um die oben genannten, jahresbedingten Effekte auf die Herbst-N_{min}-Werte zu minimieren. Die so errechneten, kulturspezifischen Mediane wurden mit den Kontrastwerten verglichen, um den Erfolg der Kooperationsarbeit abzuschätzen.

Diese Schätzung muss aus mehreren Gründen als eine grobe Einschätzung betrachtet werden. Zum einen ist sie grob, weil sie weder standortspezifische noch einige kulturspezifische Unterschiede (z. B. Früh- vs. Spätkartoffeln) berücksichtigt. Darüber hinaus sind die Kontrastwerte je nach Kultur unterschiedlich in ihrer Qualität. Wie erläutert wurden für die Kulturen Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste Herbst-N_{min}-Werte von einer kleinen Anzahl regionaler Flächen außerhalb von WRRL-Modellbetrieben und WSG ermittelt, auf denen im jeweiligen Jahr keine Gewässerschutzmaßnahmen umgesetzt wurden. Hinsichtlich des Zeitraums und der regionalen Einflüsse sind diese Werte als gut einzuschätzen, allerdings sind die entsprechenden n-Zahlen eher gering. Für die restlichen Kulturen musste auf einen Datensatz aus Niedersachsen für den Zeitraum 2000 bis 2006 zurückgegriffen werden. Zum einen ist die Möglichkeit eines regionalen und zeitlichen Einflusses nicht zu verleugnen. Zum anderen wurden diese Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen in niedersächsischen Trinkwassergewinnungsgebieten ermittelt, wodurch es durchaus möglich ist, dass die Landwirte eine Trinkwasserschutzberatung erhalten haben. Andererseits ist der Datensatz aufgrund der hohen n-Zahl robust, mit 14.000 Daten für Flächen ohne Maßnahmen aus insgesamt mehr als 22.000 Herbst-N_{min}-Daten. Den Gutachtern sind keine besseren Kontrastwerte bekannt. Zum Zwecke einer Effizienzkontrolle empfehlen die Gutachter geeignete Herbst-N_{min}-Kampagnen in NRW durchzuführen (vgl. Kapitel 8.2.3).

Aufgrund dieser Unschärfen sollten einzelne Werte nicht überbewertet werden, wie z. B. für die geschätzte Wirkung für eine Kultur in einem WSG. Nichtsdestotrotz können aus Sicht der Gutachter die geschätzten Minderungswirkungen, insbesondere, wenn sie aggregiert über mehrere Kulturen für ein WSG betrachtet werden, durchaus als eine Schätzung der Erfolge der Kooperationsarbeit gesehen werden. Diese Analyse, die in weiten Teilen einem vom NLWKN in Niedersachsen angewandten Ansatz zur Bewertung von Maßnahmen im Gewässerschutz entspricht (vgl. Kapitel 4.3 „Erfolgskontrolle in der Wurzelzone“ in NLWKN 2015a, s. auch Abbildung 36), soll nicht zuletzt die Möglichkeiten einer künftigen Anwendung eines solchen Ansatzes verdeutlichen, der anhand robusterer Datensätze stattfinden könnte. Wo die Schätzungen in dieser Studie noch als grob einzustufen sind könnte die Ermittlung besser geeigneter, ggf. auch regional differenzierter Kontrastwerte zu einer genaueren Schätzung der durchschnittlichen Wirkung führen. Auch bei höheren n-Zahlen erhöht sich die Belastbarkeit der somit ermittelten Ergebnisse, die insbesondere für die Schätzung von durchschnittlichen Wirkungen geeignet sind.

Darüber hinaus können systematisch über einen entsprechend langen Zeitraum erhobene Herbst-N_{min}-Daten für robuste statistische Analysen nutzbar gemacht werden. Diese ermöglichen eine belastbare Ermittlung von Maßnahmenwirkungen, die zwar nicht den Einzelfall, dafür aber die durchschnittliche Wirkung ausreichend präzise abschätzt. Beispielsweise wurden die Ergebnisse von Schmidt et al. (2007) und Schmidt und Osterburg (2010) durch die Nutzung eines solchen Datensatzes erzielt.

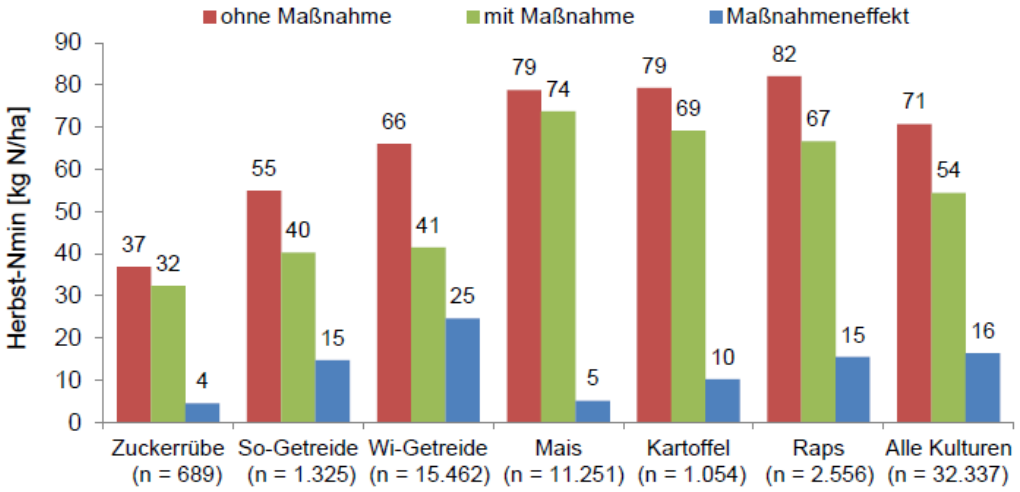


Abbildung 38: Mittlere flächengewichtete Herbst-N_{min}-Werte aus den Jahren 2008 bis 2015 mit und ohne Maßnahmen aus Niedersachsen, sowie die sich daraus ergebenden Maßnahmeneffekte

In der Abbildung wird die Wirkungsschätzung anhand des Vergleiches flächengewichteter Mittelwerte durchgeführt. In dieser Studie hingegen, werden die Mediane verglichen, da sie aufgrund der generellen rechtsschiefen Verteilung von Herbst-N_{min}-Werten und des starken Einflusses hoher Messwerte auf Mittelwerte, als ein besser geeignetes Kriterium für die Maßnahmenbewertung gelten (vgl. Schmidt et al., 2007, Schmidt und Osterburg, 2010, Finck und Übelhör, 2010). Beim Medianvergleich wird der wahrscheinlichste Wert mit Maßnahmen mit dem wahrscheinlichsten Wert ohne Maßnahme verglichen. Wie in Kapitel 6.1.1 dargestellt, ist für das Gebietsmonitoring der flächengewichtete bzw. arithmetische Mittelwert zu bevorzugen, da sonst die besonders hohen Herbst-N_{min}-Werte nicht genügend berücksichtigt werden (vgl. hierzu auch Schmidt et al., 2007).

Für Kulturen, die in den untersuchten WSG seltener angebaut wurden, wie z. B. Winterraps, andere Sorten von Wintergetreide und Sommergerste wurden keine Kontrastwerte erstellt, wie auch in der Regel auf eine Erstellung von kulturenspezifischen Mittelwerten für die WSG verzichtet (s.o.), da sie in der Gesamtbetrachtung eine untergeordnete Rolle spielen. Auch für Gemüse wurde kein Kontrastwert erstellt, da es sich hierbei um eine Gruppierung von diversen Gemüsekulturen handelt, die sich in der Art der Bewirtschaftung mitunter bedeutend unterscheiden und ein direkter Vergleich sich daher nicht eignet.

Insgesamt sind die erstellten Kontrastwerte mit einigen Unsicherheiten verbunden, die zu gewissen Über- bzw. Unterschätzungen von Maßnahmenwirkungen führen könnten. Während die Werte für Ackergras und Grünland ggf. etwas zu niedrig für den Vergleich in NRW sind, könnten die ermittelten Werte für Wintergetreide ggf. etwas zu hoch liegen. Problematischer kann in manchen WSG der Vergleich der Kultur Kartoffeln sein, da diese Kultur je nach Sorte (Früh- bzw. Spätkartoffeln) stark unterschiedliche Herbst-N_{min}-Werte aufweist. Gebiete mit einem überwiegenden Anbau von Spätkartoffeln können sehr hohe Herbst-N_{min}-Werte für diese Kultur aufweisen, für die entsprechend keine positive Wirkung der Kooperationsarbeit abgeschätzt werden kann. Die „ausbleibende" Wirkung mag in vielen Fällen eher an dem einheitlichen Kontrastwert für diese Kultur liegen, in welchen sowohl Werte für frühe als auch späte Kartoffelsorten einfließen und weniger an den im WSG erreichten Herbst-N_{min}-Werten für diese Kultur.

6.2 Berechnung der Sickerwasserverweilzeit

Die Berechnung der Sickerwasserverweilzeit ist grundlegend für die Beurteilung von Nährstoffkonzentrationen im Grundwasser, da die Versickerung durch den Boden und die ungesättigte Zone hindurch sehr unterschiedlich lange Zeitspannen umfassen kann. Diese zeitliche Verzögerung zwischen dem Nährstoffeintrag in den Untergrund und dem Erreichen der Grundwasserwasseroberfläche muss bei der Auswertung gemessener Konzentrationen hydrochemischer Indikatorparameter im Grundwasser Berücksichtigung finden. Bei langen Verweilzeiten bereits in der ungesättigten Zone kann bereits hier ein mikrobieller Nitratabbau (natürliche Denitrifikation) eintreten (Renger 2002, Leson et al. 2010, Wisotzky 2011)), der je nach Aufbau des Substrates insbesondere bei lehmigen, sickerwasserhemmenden Schichten beträchtliche Ausmaße bis hin zur kompletten Denitrifikation erreichen kann. Das zeigten aktuelle Untersuchungen zur Modellierung des Nitratabbaus in der wasserungesättigten Aerationszone in Sachsen-Anhalt (BGD 2017, HYDOR 2017, LLG 2019).

Die Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone ergibt sich aus der vertikalen Verlagerungsgeschwindigkeit. Die Verlagerungsgeschwindigkeit beschreibt den Massenschwerpunkt einer Verlagerungsfront. Der durch hydrodynamische Dispersion verursachte voraus- oder nacheilende Stoffffluss wird dabei nicht berechnet. Bevorzugte Fließwege (z. B. über Makroporen) können die Geschwindigkeit des Stoffes erhöhen, wenn sich dieser direkt an der Oberfläche von Poren befindet, oder auch verringern, wenn der Stoff in der Bodenmatrix vorliegt. Zur Abschätzung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung wurde für die Lockergesteine die Methode der DIN 19732 angewendet, für Festgesteine die nach Hölting et al. (1995). Das Verfahren findet auch Anwendung in der „Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Ermittlung von Verweilzeiten und Denitrifikation in der ungesättigten und gesättigten Zone" (Consulaqua et al. 2018). In Anlehnung an diese Methodik wurden durch den Geologischen Dienst NRW (GD NRW) die Schutzfunktion des Sickerwassers landesweit untersucht (GD NRW 2008).

Nach DIN 19732 erfolgt die Berechnung aus der Mächtigkeit der grundwasserüberdeckenden Schichten und der Verlagerungsgeschwindigkeit, welche sich aus den summierten Feldkapazitäten und der Grundwasserneubildungsrate ergibt:

$$t_s = \Sigma\ M_i * FK_i / GWNB = (M_1 * FK_1 + M_2 * FK_2 + \ldots + M_n * FK_n) / GWNB \text{ oder}$$

$$t_s = M * FK / GWNB;$$

Dabei sind:

t_s	Verweilzeit des Sickerwassers in a
M	Mächtigkeit der gesamten Grundwasserüberdeckung in dm
M_i	Mächtigkeit der n-ten Schicht des Bodens bzw. der tieferen Grundwasserüberdeckung in dm
FK	durchschnittliche Feldkapazität der gesamten Grundwasserüberdeckung in mm/dm
FK_i	Feldkapazität der n-ten Schicht des Bodens bzw. der Grundwasserüberdeckung in mm/dm
GWNB	Grundwasserneubildungsrate in mm/a

Aus den Schichtenverzeichnissen der Messstellen sowie den mittleren Grundwasserständen lassen sich die für das Durchströmen der ungesättigten Zone relevanten Daten zum Flurabstand und zur

Feldkapazität erheben. Der Flurabstand stellt den Abstand zwischen der Grundwasseroberfläche und dem Grundwasserstockwerk und somit die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung dar.

Die Flurabstände wurden vorzugsweise anhand der mittleren Grundwasserstände berechnet oder aber dem Grundwasseranschnitt bzw. Grundwasserstand des Schichtenverzeichnisses entnommen. Lagen gespannte Grundwasserverhältnisse vor, wurde anstelle der Grundwasserdruckspiegelhöhe die Grundwasseroberfläche gewählt, um den Flurabstand auszuweisen. Für jeden Bodenhorizont der Grundwasserüberdeckung wurde die Feldkapazität anhand der Lithologie aus dem Schichtenverzeichnis ermittelt. Dazu wurde den einzelnen Horizonten nach Wessolek et al. (2009) bzw. der DWA-A 920-1 (2016) ein Wert zugewiesen und mit der jeweiligen Schichtmächtigkeit multipliziert.

Aus den unterschiedlichen und verschieden mächtigen Bodenhorizonten der Grundwasserüberdeckung wurde die summarische Feldkapazität des jeweiligen Standorts ermittelt. Ergibt sich aus dem Schichtenverzeichnis und der Lage der Filterstrecke eine Überlagerung des Grundwasserleiters mit bindigen Schichten führt dies zu einer signifikanten Erhöhung der Sickerwasserverweilzeit.

Die Berechnung der Sickerwasserverweilzeit nach DIN 19732 gilt nur für Bodenhorizonte, im Festgestein erfolgte die Berechnung nach Hölting et al. (1995) analog Consulaqua et al. (2018). Dabei werden je nach Gesteinsart Punkte vergeben und mit einem der Struktur zugeordnetem Faktor multipliziert. Die Strukturangabe reicht von „ungeklüftet“ über „nicht bekannt“ bis „stark geklüftet bzw. verkarstet“. Die Summe der einzelnen Horizonte gibt die Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung an, der eine Spannweite der Sickerwasserverweildauer zugeordnet ist (s. Tabelle 8). Dieses Vorgehen war vor allem für das Kooperationsgebiet Hastenrather Graben relevant.

Grundsätzlich sind für die Bewertung von Bewirtschaftungsmaßnahmen kurze Sickerwasserverweilzeiten vorteilhaft, da damit einerseits eine geringe Vermischung von Sickerwässern verschiedener Jahre aus der ungesättigten Zone stattfindet und ein zeitnahes Konzentrationssignal im Grundwasser erwartet werden kann.

Tabelle 8: Gesamtschutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Festgesteine und Zuweisung der Sickerwasserverweildauer

Gesamtschutzfunktion	Punktzahl	Größenordnung Verweildauer
sehr hoch	> 4000	mehr als 25 Jahre
hoch	> 2000 - 4000	10 - 25 Jahre
mittel	> 1000 – 2000	3 - 10 Jahre
gering	> 500 - 1000	mehrere Monate bis ca. 3 Jahre
sehr gering	≤ 500	wenige Tage bis ca. 1 Jahr

Da neben der Angabe einer Größenordnung für die Verweildauer bereits die Einstufung in nur vier zusammengefasste Klassen von Gesteinsarten unbestimmt ist, ist die Sickerwasserverweilzeit nicht als genau definierte Dauer angegeben. Bei Wechsellagerung verschiedener Gesteinsarten wurde aus den angegebenen Punkten ein grob gewichteter Mittelwert gebildet. Zudem ist in den Schichtenverzeichnissen meist keine Angabe zur Struktur gegeben, so dass hier der Faktor 1 („nicht bekannt“) zur Verwendung kam. Dennoch ist eine ungefähre Abschätzung der Sickerwasserverweildauer möglich (Wilder & Schöbel 2008). Wird das Festgestein vom Lockergestein überlagert, wurde die nach DIN 19732 ermittelte Verweildauer hinzugerechnet (Consulaqua et al. 2018).

Je höher die die Grundwasserdeckschichten durchströmende Wassermenge, desto geringer die Verweilzeit. Die Grundwasserneubildung ist der Anteil des Niederschlags, welcher nach Abzug der Evapotranspiration und der verschiedenen Abflusskomponenten tatsächlich das Grundwasser erreicht und zur Neubildung beiträgt. Die Neubildung wurde dem Wasserhaushaltsmodell „mGROWA“ des FZ Jülich (2013) entnommen und lag als Rasterdatensatz vor. Mit Hilfe der Eingangsdaten Klima, Landnutzung, Topographie, Bodenkarte sowie Geologische Karten wurde in mGROWA zunächst der Gesamtabfluss auf Basis der jeweiligen Niederschlagsmenge und der berechneten tatsächlichen Ver-

dunstung in täglicher Auflösung bilanziert. Dabei wurden die Wasserspeicherung und die Sickerbewegung in bis zu 5 Bodenschichten sowie ein möglicher kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser berücksichtigt. Aus den berechneten Tageswerten wurde nachfolgend der Zeitraum 1971 bis 2000 aggregiert. In Abbildung 39 ist ein exemplarisches Beispiel zur Veranschaulichung der mGROWA-Daten dargestellt. Erkennbar sind teils große Varianzen der Werte, die kleinräumig und im Wesentlichen landnutzungsbedingt sind.

Die Wasserschutzgebiete Hartefeld und Helenenbusch liegen zum Teil in Niederungsgebieten mit negativer Grundwasserneubildung. Für die Berechnung der Sickerwasserverweilzeiten wurde die Neubildung jeweils am konkreten Standort der Messstelle abgelesen. Bei großen Differenzen (z. B. deutlich niedrigeren Neubildungsraten als im näheren Umfeld) wurden die Angaben flächengewichtet gemittelt.

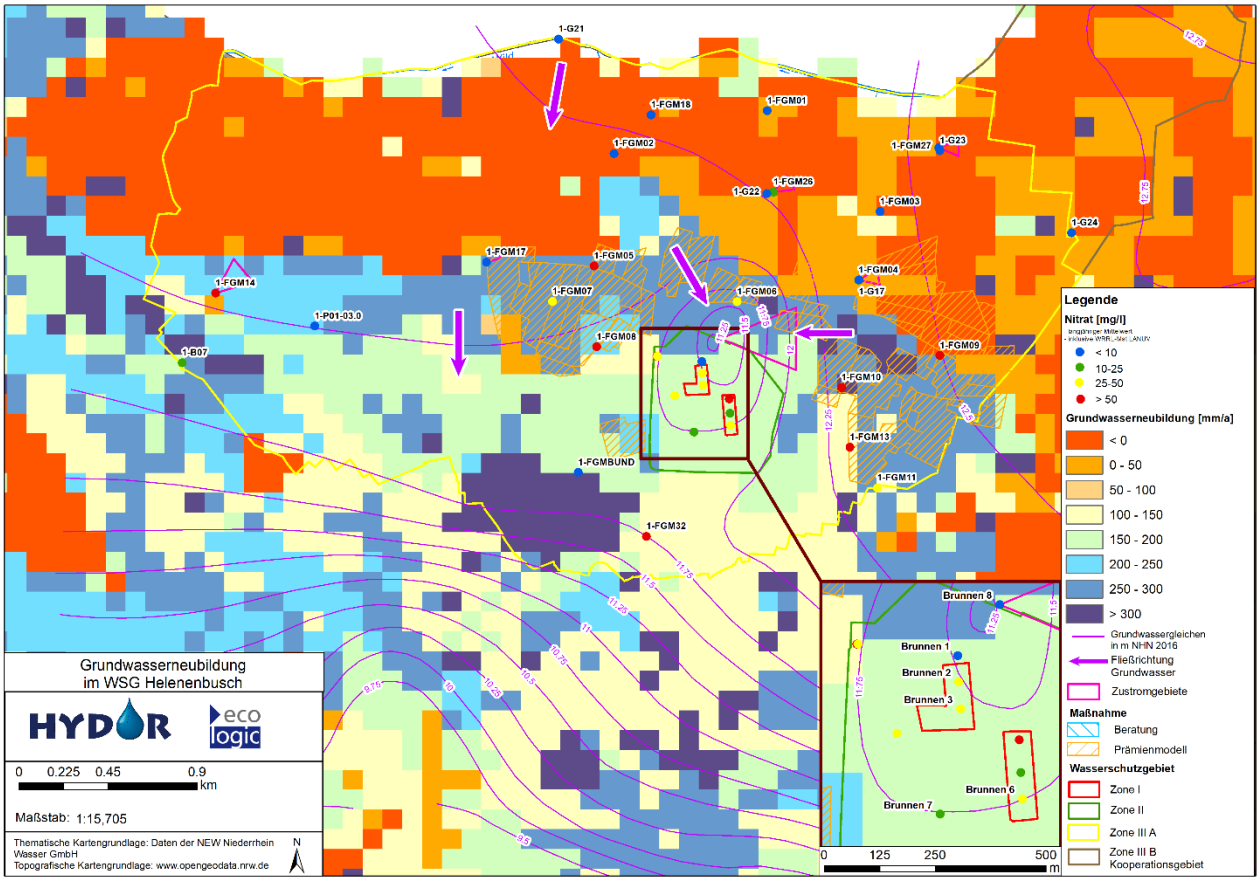


Abbildung 39: Grundwasserneubildung (mGROWA) im WSG Helenenbusch

Den Wasserschutzgebieten Mussum und Hedem lagen andere Grundwasserneubildungsdaten zu Grunde. Für das WSG Mussum lag eine Modellierung der Grundwasserneubildung mit dem Programmpaket CASCADE 2.3 vor. Dabei handelt es sich um ein kleinräumiges Modell, das nur das hydrologische Jahr 2000 betrachtet. In Hedem konnte ein hydrogeologisches Gutachten (Consulaqua & Geo-Infometric 2014) ausgewertet werden, welches im Schnitt eine Grundwasserneubildung von 95 mm/a im WSG angibt.

In Abbildung 40 sind die Ergebnisse der Berechnungen zu den Sickerwasserverweilzeiten für alle auswertbaren Grundwassermessstellen zusammenfassend dargestellt. Es zeigt sich, dass zumeist kurze Sickerwasserverweilzeiten von < 5 Jahren bzw. mittlere Verweildauern im Sickerwasser von 5 bis 10 Jahren auftreten. Aus Abbildung 41 geht hervor, dass lange Sickerwasserverweildauern hinsichtlich der Bewertung hydrochemischer Indikatorparameter in den meisten WSG kein Problem darstellen. Ausnahmen bilden die WSG Eicks-Mehlenbach, Hartefeld, Hastenrather Graben und Helenenbusch, die bedeutende Anteile langer Sickerwasserverweilzeiten von >20 Jahren aufweisen.

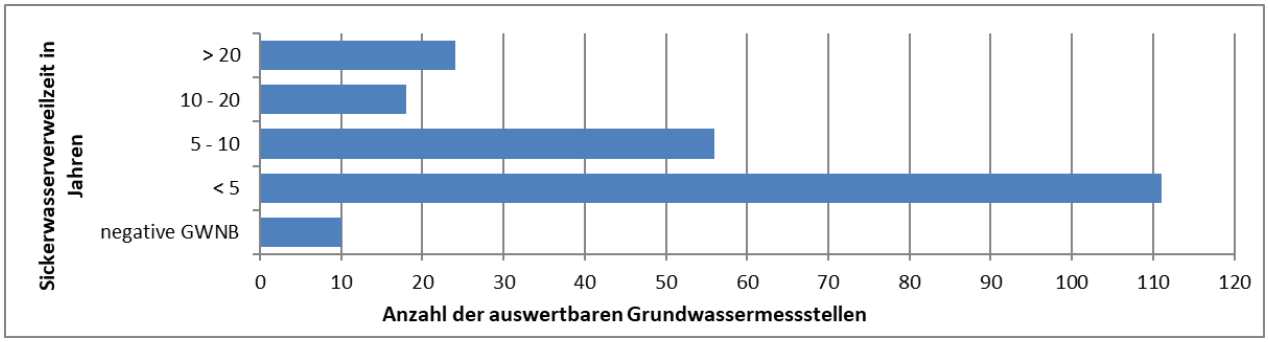


Abbildung 40: Klassen der Sickerwasserverweilzeiten aller Grundwassermessstellen

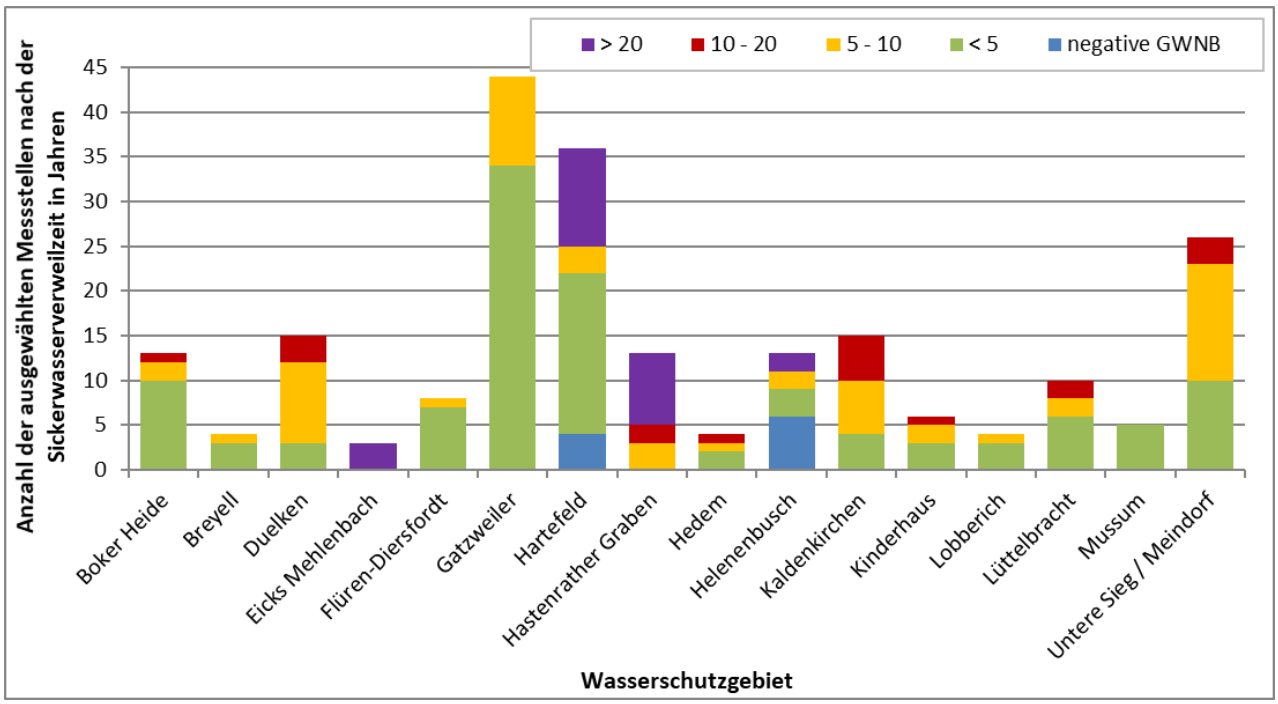


Abbildung 41: Klassen der Sickerwasserverweilzeiten aller Grundwassermessstellen nach Wasserschutzgebieten

6.3 Ausweisung von Zustromgebieten zu Grundwassermessstellen

Die Beschaffenheit des Grundwassers wird einerseits durch die Eigenschaften des Untergrundes bestimmt, andererseits aber wesentlich durch die Flächennutzung und die damit verbundenen Stoffeinträge. Dabei ist nicht nur die Nutzungsart im unmittelbaren Umfeld der Messstelle ausschlaggebend, sondern die Flächennutzung innerhalb des unterirdischen Zustromgebietes. Daher ist die räumliche Abgrenzung des Einflussbereiches von Flächen für die Bewertung hydrochemischer Parameter in Grundwassermessstellen bezogen auf Flächennutzungen oder Bewirtschaftungsformen von zentraler Bedeutung. Damit können Grundwassermessstellen, die außerhalb des Kooperationsgebietes bzw. die in spezifischen Teilgebieten (z. B. Prämiengebiet) innerhalb des Kooperationsgebietes differenziert bewertet werden.

Während die Sickerwasserbewegung überwiegend vertikal verläuft, erfolgt die Strömung im Grundwasserleiter eher horizontal (s. Abbildung 42). In der gesättigten Zone wurde die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers nach dem DARCY-Gesetz (Hölting & Coldewey 2009) ermittelt:

$$v_a = \frac{k_f * \mathrm{i}}{n_{eff}}$$

mit: v_a Abstandsgeschwindigkeit (m/s)

k_f Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

i hydraulisches Gefälle (m/m)

n_{eff} effektive Porosität (-)

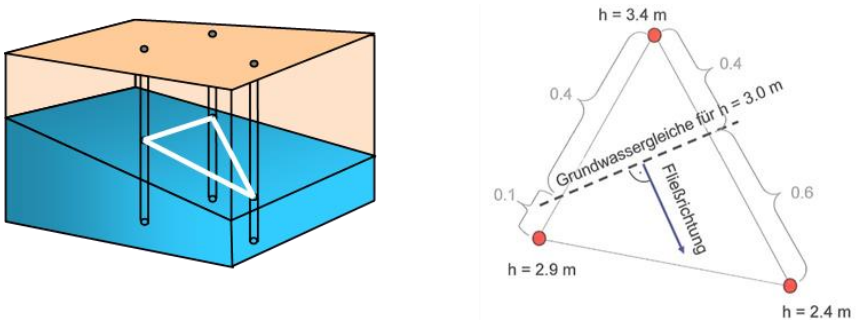


Abbildung 42: Prinzipskizze zur Verdeutlichung des Grundwasserfließens (links) und der Ermittlung der aus Messungen zur Grundwasseroberfläche abgeleiteten Fließrichtung mittels hydrologischen Dreieckes (rechts)

Die zur Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit benötigten Daten lagen zu den Messstellen nicht unmittelbar vor, konnten jedoch anhand der geologischen Schichtenverzeichnisse (für den Durchlässigkeitsbeiwert und die effektive Porosität) und des landesweiten Grundwassergleichenplans (für den hydraulischen Gradienten) ermittelt werden. Die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers wird vor allem durch die hydraulische Leitfähigkeit (Durchlässigkeitsbeiwert) des Gesteins bestimmt.

Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde im Lockergestein nach der HK 50 aus den ehemaligen hydrogeologischen Erkundungen in der DDR abgeleitet (Voigt, 1987), im Festgestein erfolgte die Einteilung in Klassen nach der HK 100 NRW (GD NRW 2019). Die Bestimmung der effektiven Porosität des Lockergesteins erfolgte nach Fuchs et al. (2017) sowie Hölting & Coldewey (2009), die des Festgesteins nach Gabriel et al. (1989). Beide hydraulische Parameter (k_f, n_{eff}) wurden aus der lithologischen Ansprache der Bohrungen abgeleitet.

Das hydraulische Gefälle als Quotient der lateralen Distanz zur vertikalen Differenz der Grundwasseroberfläche wurde aus dem Grundwassergleichenplan abgelesen. Bei diesen Daten war zu berücksichtigen, dass die Grundwassergleichen für den wasserwirtschaftlich genutzten Hauptgrundwasserleiter repräsentativ sind. Das Ablesen der Distanz zwischen zwei Grundwasserhöhengleichen erfolgte als Entfernungsmessung der beiden Gleichen zwischen denen sich die Grundwassermessstelle befindet. Bei deutlich erkennbaren Gefälleunterschieden wurden weitere Isolinien aus dem Zustrom berücksichtigt, um die Fließgeschwindigkeit im Zustromgebiet abzubilden. In Abbildung 43 ist der gesamte Fließweg vom äußeren Rand des Zustromgebietes bis zum Erreichen der GWM schematisch dargestellt.

Die Zustromrichtung ergibt sich als Senkrechte zu den Gleichen und wurde anhand des Gleichenplanes bestimmt. Aufgrund saisonaler und räumlicher Variabilitäten der Grundwasserstände liegen Abweichungen des Einzugsgebiets um einige Grad in eine andere Richtung im natürlichen lokalen Schwankungsbereich (Hannappel & Köpp 2017). Zudem stellt der Grundwassergleichenplan eine regionalisierte Übersicht dar und bildet kleinräumige Richtungsänderungen nicht unbedingt ab. Insbesondere im nahen Umfeld von Flüssen können saisonal wechselnd infiltrierende oder aber exfiltrierende Verhältnisse auftreten. Dies betrifft vor allem die Wasserschutzgebiete Hedem und Meindorf.

Aus praktischen Gründen muss die Gesamtverweilzeit im Untergrund zur Ausweisung des Zustromgebietes begrenzt werden, daher wurde die Fließ- und Verweilzeit auf maximal neun Jahre festgesetzt. Nach der alten DüV entspricht dies der Dauer der Aufbewahrungspflicht von Dokumenten für Landwirte. Zugleich sind für diese Zeiträume Daten gut recherchierbar.

Der Ausbau der Messstellen wirkt sich auf die Repräsentativität des Messpunktes aus. Entscheidend sind dabei vor allem Filterlage und –länge. Dabei wurde darauf geachtet, dass das von der Messstelle erfasste Grundwasser aufgrund der Filterlage hauptsächlich durch die Grundwasserneubildung des abgegrenzten Zustromgebietes geprägt wird.

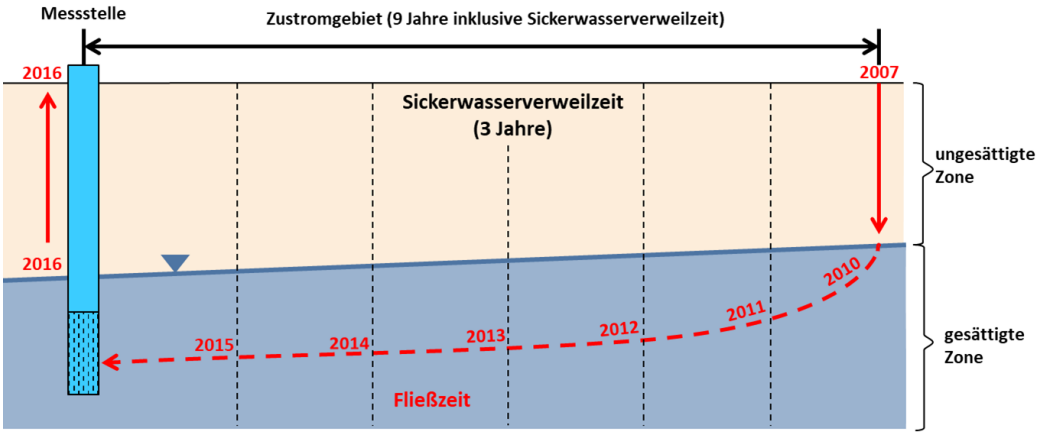


Abbildung 43: Schematische Darstellung der Grundwasserströmung als Bahnlinie vom Eintragsort bis zur Entnahme an der Grundwassermessstelle inklusive beispielhafter Ausweisung des Zustromgebiets für einen Zeitraum von neun Jahren

Die Form des Zustromgebietes der Messstellen hängt im Wesentlichen vom lithologischen Aufbau der ungesättigten Boden- und Sickerzone, der Geologie und Hydrodynamik des Grundwasserleiters, der Lage zu Vorflutern, der Anordnung, dem Ausbau und dem zeitlichen Entnahmemanagement der Gewinnungsanlagen ab. Im Fall des WSG Mussum der BEW existiert eine Heberbrunnengalerie mit Filterausbauten in jeweils exakt der gleichen Tiefenlage und ein lithologisch relativ homogener Untergrundaufbau mit einem entsprechend zeitlich stabilen Strömungsfeld des Grundwassers. Im Ergebnis der fachlichen Abstimmung mit dem Versorger konnten hier vorhandene Informationen und Daten zu den Zustromgebieten (sog. Stromstreifen) übernommen werden (s. Abbildung 44).

In anderen Gebieten können Einflüsse durch Wasserstandsschwankungen benachbarter Flüsse, stark variierende Pumpraten in Brunnengalerien oder sonstige Faktoren zu zeitlich schwankenden Grundwasserströmungsrichtungen führen. Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Form des Zustromgebietes mit zunehmender Heterogenität der Strömungsrichtungen verbreitert, sodass die Form des zeitlich gemittelten Zustromgebietes einer Dreiecksform ähneln würde. (s. Beispiel für das WSG Meindorf in Abbildung 45). Die Verwendung der Zustromgebiete erfolgte nicht – wie ursprünglich beabsichtigt – zur ausschließlichen Berücksichtigung der dort vorhandenen Prozesse an der Landoberfläche und im Untergrund, sondern wurden zur gebietsspezifischen räumlichen Einordnung der Grundwassermessstellen genutzt. Die Ausweisung der Zustromgebiete diente

- der Beurteilung, ob das Zustromgebiet einer Grundwassermessstelle innerhalb oder außerhalb des Kooperationsgebietes liegt,
- der räumlichen Zuordnung von Maßnahmen innerhalb des Kooperationsgebietes (z. B. Prämiengebiet, Beratungsgebiet etc.) und
- der Ermittlung der primären Landnutzung bzw. Bewirtschaftung im Zustromgebiet.

Im Ergebnis steht eine Kategorisierung der Messstellen, die eine differenzierte Betrachtung der Nitratkonzentrationen und Trends ermöglicht. Die relevanten zu bildenden Kategorien wurden gebietsspezifisch entwickelt. So stand z. B. im Kooperationsgebiet Hartefeld die Trennung zwischen Beratungs- und Prämiengebiet im Vordergrund, während im Kooperationsgebiet Meindorf mit hohen Anteilen siedlungsgeprägter Flächen eine primäre Kategorisierung in Landnutzungen zielführend war.

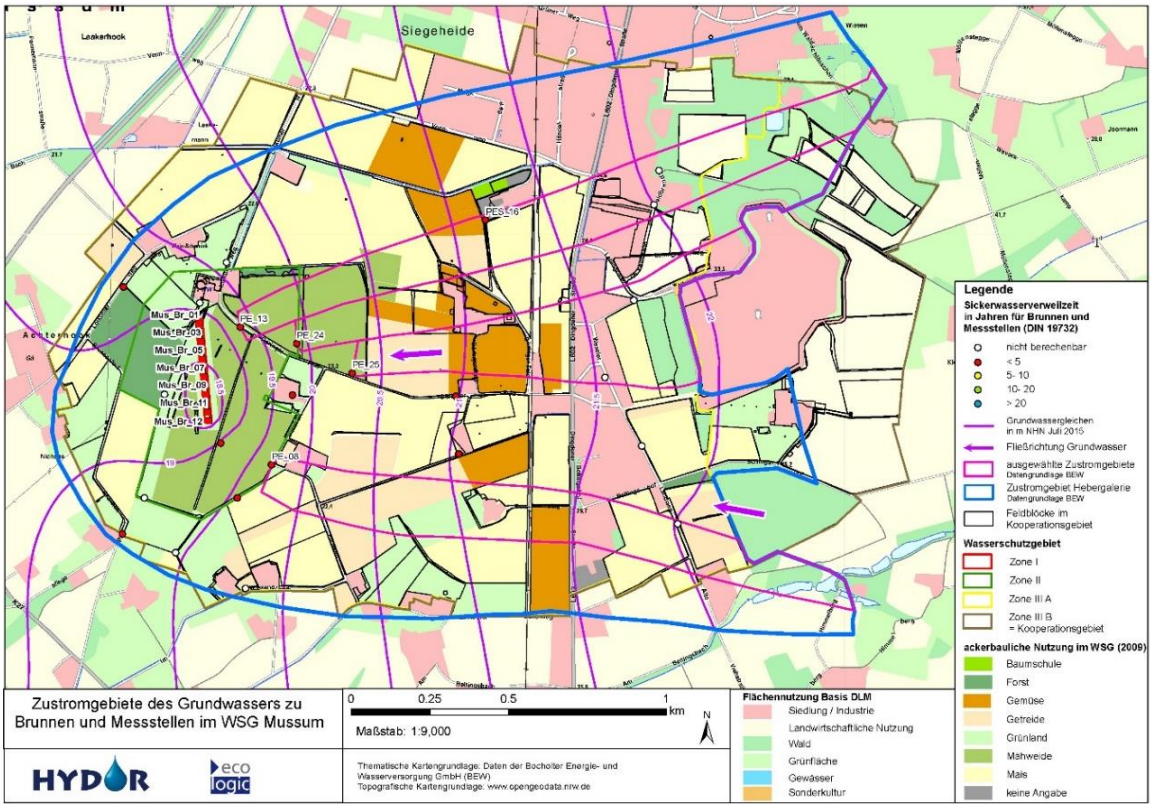


Abbildung 44: Darstellung der Ausweisung von Zustromgebieten im WSG Mussum der BEW mit einer Heberbrunnengalerie

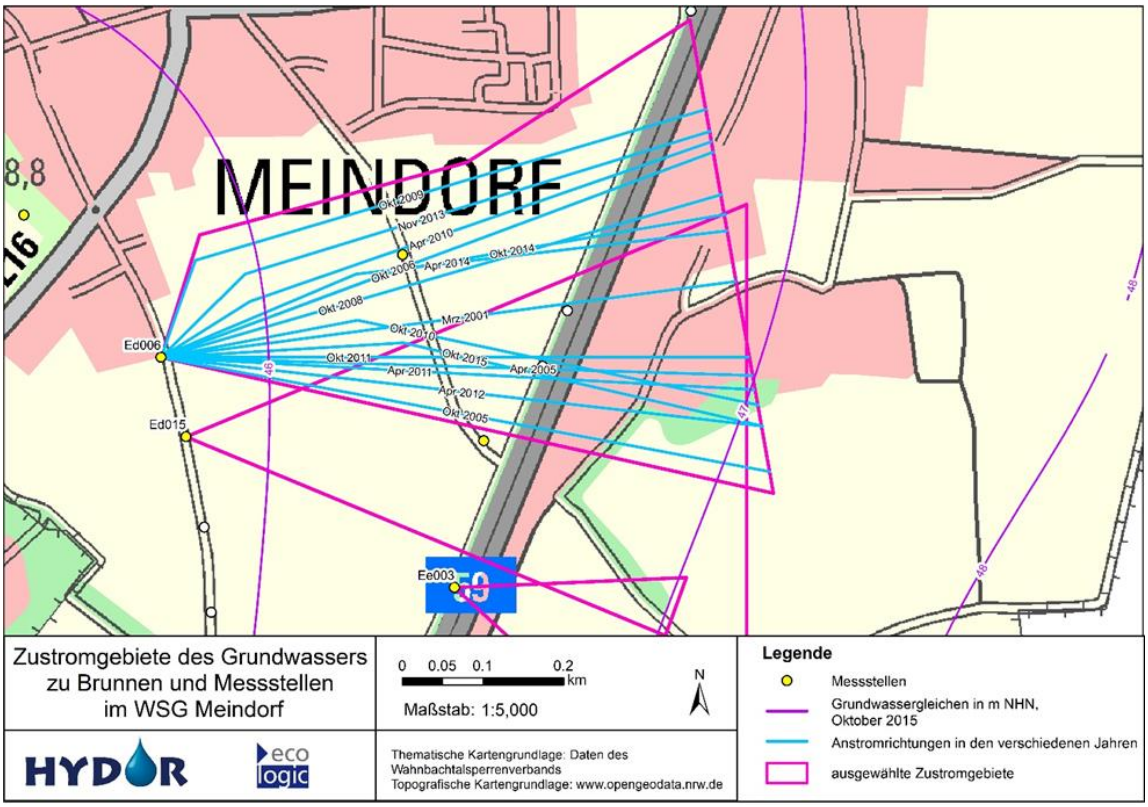


Abbildung 45: Beispiel für die Ausweisung von Zustromgebieten im WSG Meindorf mit Richtungen der hydraulischen Gradienten aus verschiedenen Jahren (blau)

Weitergehende schlagspezifische Detailanalysen zu Maßnahmenwirkungen und damit verbundenen Änderungen der landwirtschaftlichen Stoffeinträge ergeben sich anhand ausgewiesener Zustromgebiete, wenn räumlich differenzierte Herbst-N_{min}-Daten für ausreichend lange Zeiträume vorliegen. Dann können somit Nitratkonzentrationen in der entsprechenden Grundwassermessstelle berechnet und mit gemessenen Nitratwerten verglichen werden. Das definierte Zustromgebiet wird dabei in Abhängigkeit der Grundwasserfließzeit segmentiert und die flächengewichteten Herbst-N_{min}-Werte für jedes Segment und jedes Jahr ermittelt.

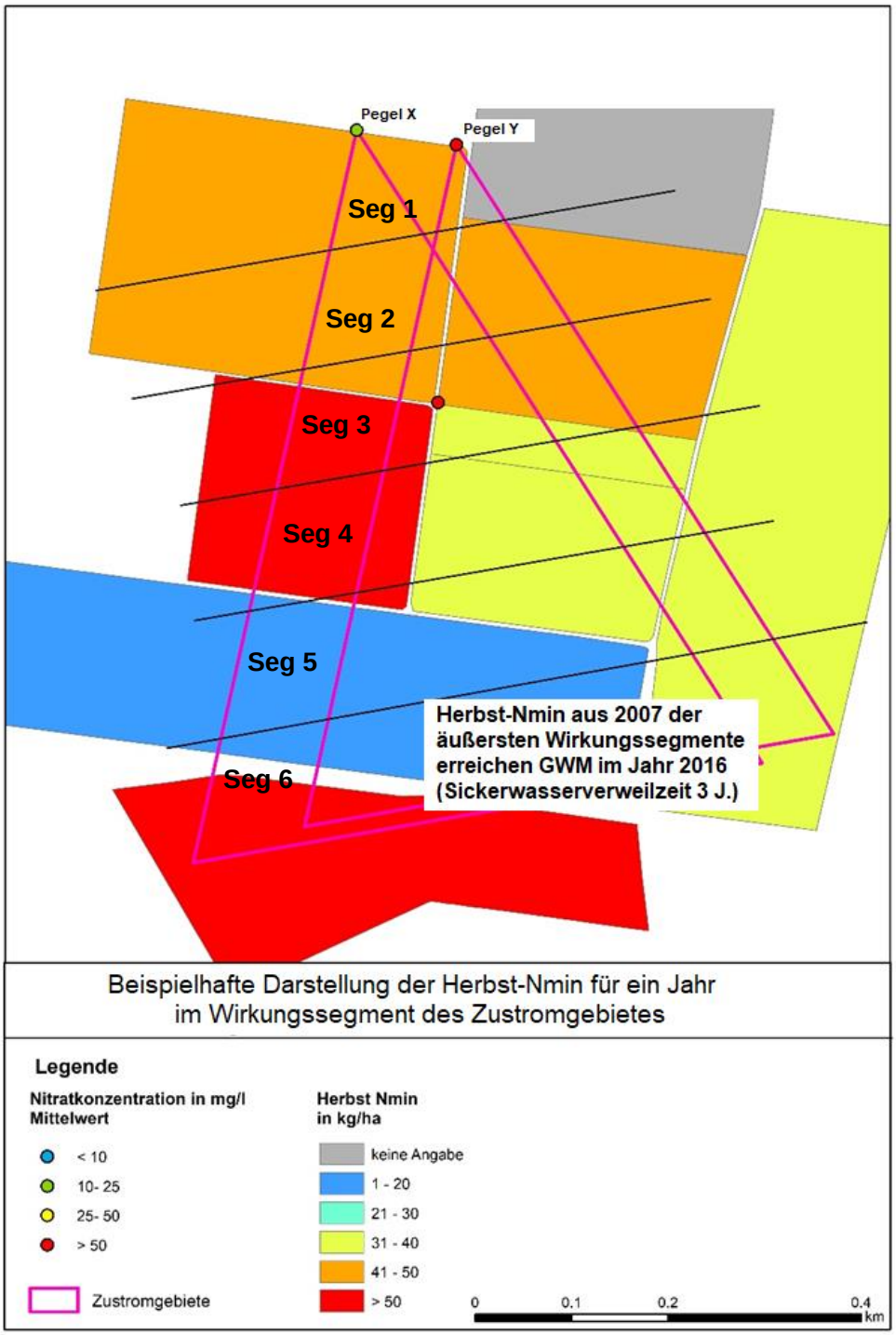


Abbildung 46: Geohydraulisch vorgenommene Unterteilung von zwei Zustromgebieten in jährliche Segmente

Der zu wählende Zeitraum jedes Wirkungssegmentes ist dabei abhängig von der Sickerwasserverweil- und Grundwasserfließzeit. In Abbildung 46 ist ein Beispiel mit sechs Segmenten bei einer Sickerwasserverweilzeit von drei Jahren, in Summe also ein Betrachtungszeitraum von neun Jahren, dargestellt. Für die Berechnung der Nitratkonzentration in der GWM „Pegel X“ würden also zur Abschätzung der Nitratkonzentration im Jahr 2016 die flächengewichteten Herbst-N_{min}-Gehalte des Segmentes 1 aus dem Jahr 2012 (3 Jahre SWVZ + 1 Jahr Grundwasserfließzeit), des Segmentes 2 aus 2011 usw. bis zum Segment 6 mit den Herbst-N_{min}-Werten aus dem Jahr 2007 herangezogen.

Vorteilhaft ist bei dieser Vorgehensweise die Möglichkeit der Berücksichtigung räumlicher sowie zeitlicher Heterogenitäten, wodurch der potentielle Stoffeintrag detailgetreu wiedergegeben werden könnte. Der Nachteil besteht darin, dass es bei der Ausweisung der Gebiete für neun Jahre aufgrund der vorgenommenen Abfrage der N_{min}-Daten bei der Landwirtschaftskammer NRW bzw. den Beratern von ebenfalls neun Jahren nur zu einer terminbezogenen Überschneidung von nur einem Jahr kommt. Die Zeitreihe der Herbst-N_{min}-Werte für das WSG Hartefeld beginnt z. B. erst im Jahr 2008 und endet 2016, wodurch sich bei einem Zustromgebiet, das auf neun Jahre ausgelegt ist, nur ein gemeinsamer Datenpunkt für die berechnete Nitratkonzentration ergibt (s. Abbildung 47).

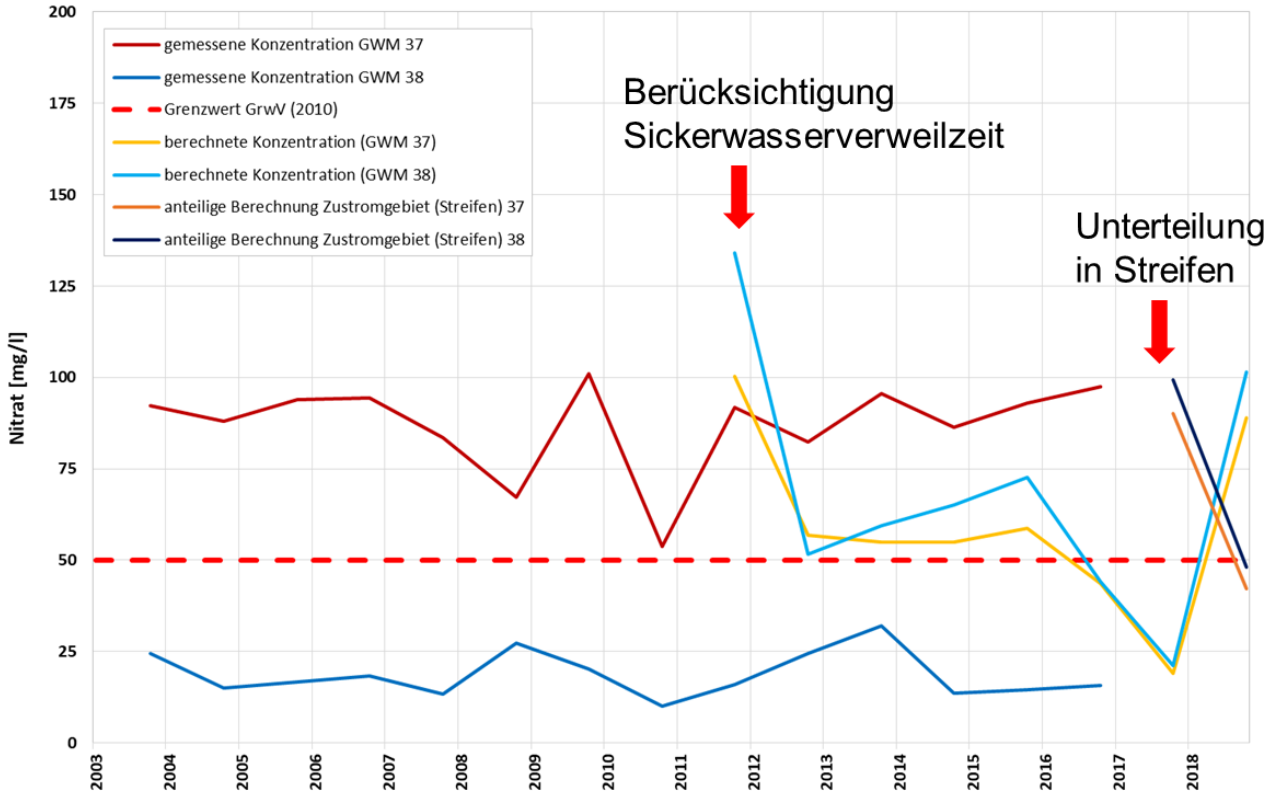


Abbildung 47: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Konzentrationen in den Zustromgebieten der GWM 37 und 38 im WSG Hartefeld

Die meisten der vorhandenen Daten zu N_{min}-Gehalten im Boden und Grundwasseranalysen sind für diese Anwendung jedoch leider zu kurz. Hierfür wäre ein Zeitraum zwischen aus Herbst-N_{min}-Zeitreihen berechneten Sickerwasserkonzentrationen und gemessenen Nitratwerten von rund 15 Jahren erforderlich, um einen hinreichenden Zeitraum abzudecken, aus dem modellierte Nitratwerte von fünf bis sechs Jahren hervorgehen. Selbst Daten von Gebieten mit einer vergleichsweise guten Datenlage, wie z. B. Hartefeld (schlagspezifische georeferenzierte Herbst-N_{min} ab 2008) oder Dülken (Herbst-N_{min} ab 1994 – nicht georeferenziert), konnten nicht alle Anforderungen für die Detailanalysen erfüllen.

Die Verwendung der Zustromgebiete erfolgte daher nicht - wie ursprünglich im Projektplan der Studie beabsichtigt – zur ausschließlichen Berücksichtigung der dort vorhandenen Prozesse an der Landoberfläche und im Untergrund, sondern beschränkte sich auf die räumliche Zuordnung zu den Grundwassermessstellen, um dort die räumliche Begrenzung landwirtschaftlicher Maßnahmen berücksichtigen zu können.

6.4 Analyse von Daten zur chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern

6.4.1 Analyse hydrochemischer Parameter im Grundwasser und Trendermittlung

Der Ausschluss eines dominierenden Nitratabbaus in den für die Trinkwassergewinnung genutzten Grundwasserleitern war Bestandteil der vorab selektierten Kriterien zur Auswahl der zu bearbeitenden Kooperationsgebiete. Diese a-priori-Annahmen wurden mit den übergebenen hydrochemischen Daten geprüft.

Der detaillierten Analyse der Nitratentwicklung in den Wasserschutzgebieten ging daher eine eingehende Analyse auf erkennbare Anzeichen von Nitratabbau voraus, um diesen Prozess für die zu untersuchenden Wasserschutzgebiete weitestgehend ausschließen zu können. Dabei wurde die zeitliche Entwicklung von Hydrogencarbonat (HCO_3), Sulfat und Chlorid (sofern diese Daten übergeben wurden) in den Grundwassermessstellen bewertet. Es handelt sich um eine einfache Prüfung eines möglichen Nitratabbaus mit Hilfe der sog. „hydrochemischen“ Ganglinienanalyse nach DWA (2015). Gegenübergestellt werden die Konzentrationen der genannten Parameter. Ist kein zeitparalleler Anstieg von Sulfat bzw. HCO_3 zu den (konstanten oder fallenden) Nitratwerten erkennbar, kann ein chemo-lithotropher oder auch ein chemo-organotropher Nitratabbau zunächst ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse sind in Kap. 7.2 in die Analyse implementiert und werden dort vorgestellt.

Da Sauerstoff- und Redoxpotentialwerte zu den Grundwasserproben häufig nicht übergeben wurden, konnte eine Detailprüfung nach dem von Hannappel et al. (2018) vorgestellten Schema nicht durchgeführt werden. Auch direkte Messungen eines möglichen Nitratabbaus im Grundwasser nach der Stickstoff-Argon-Methode (LBEG 2019) lagen bei den Wasserversorgern nicht vor. Von den Unternehmen direkt übermittelte Angaben zu einem möglichen Nitratabbau im Ergebnis des lokalen Kenntnisstandes wurden natürlich berücksichtigt.

Im Fokus der Untersuchungen stand Nitrat als primärer Gefährdungsparameter. Um einen Überblick zur Konzentrationsverteilung zu erhalten, wurde zunächst die zeitlich gemittelte Nitratbelastung jeder Grundwassermessstelle in Abhängigkeit des Kooperationsbeginns und des verfügbaren Datenzeitraums berechnet. Datenpunkte, die vor dem Kooperationsbeginn lagen, wurden bei der Mittelwertbildung ignoriert. Folglich spiegelt die zeitlich gemittelte Nitratkonzentration der Messstellen nicht den aktuellen, sondern den mittleren Zustand im Untersuchungszeitraum wider. Dadurch wird der Einfluss kurzzeitig extremer Entwicklungen minimiert.

Messpunktspezifische Detailanalysen bezogen sich auf die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen, um Aussagen zu Trendentwicklungen treffen zu können. Multivariate Datenanalysen wurden in diesem Zusammenhang nicht als zielführend erachtet und waren aufgrund der Datenlage nicht möglich. In Kombination mit den zuvor ermittelten Ausmaßen der Zustromgebiete, wird ein direkter Vergleich der Maßnahmen in den Zustromgebieten bzw. im gesamten WSG mit der zeitlichen Entwicklung der Nitratgehalte ermöglicht, die grundlegend für die Beurteilung von Maßnahmen im Kooperationsgebiet sind.

Ergänzend wurde eine terminbezogene Trendermittlung der Nitratwerte strikt nach den Vorgaben der GrwV (2017) durchgeführt. Demnach kann die Trendanalyse mittels T-Test, der mit einem Ausreißertest gekoppelt ist, oder mittels Mann-Kendall Test durchgeführt werden. Folgende Kriterien wurden zur Qualitätssicherung der Trendermittlung angewendet:

- Daten aus fünf verschiedenen Jahren und
- keine Verwendung oder Bildung von Jahresmittelwerten.

Wurden die Kriterien nicht eingehalten, so wurden sie aus der Trendermittlung ausgeschlossen. Zur Beschreibung der allgemeinen Nitratbelastungssituation wurden die Nitratmittelwerte dieser GWM jedoch beibehalten.

Abbildung 48 zeigt ein vereinfachtes Fließschema, das das Vorgehen zur Trendanalyse abbildet. Ausgehend von einem geprüften Datensatz, der die oben genannten Qualitätskriterien einhält, wird ein

Shapiro-Wilks-Test auf Normalverteilung durchgeführt. Fällt dieser positiv aus, durchläuft der Datensatz einen Grubbs-Test zur Identifikation von Ausreißern. Bei positivem Befund wird der Wert geprüft und ggf. aus dem Datensatz eliminiert, wenn dieser die Ermittlung der Steigung erheblich stören würde. Daran schließt sich ein T-Test zur Ermittlung der Signifikanz des Trends. Die Magnitude des Trends (Steigung) erfolgt durch eine lineare Regression mit der Kleinste-Quadrate-Methode nach Gauß. Liegt im Datensatz keine Normalverteilung vor, wird zur Erfassung der Signifikanz ein statistischer Test nach Mann-Kendall durchgeführt und die Steigung mittels Theil-Sen-Verfahren ermittelt, das eine hohe Robustheit und geringe Anfälligkeit gegenüber Ausreißern besitzt.

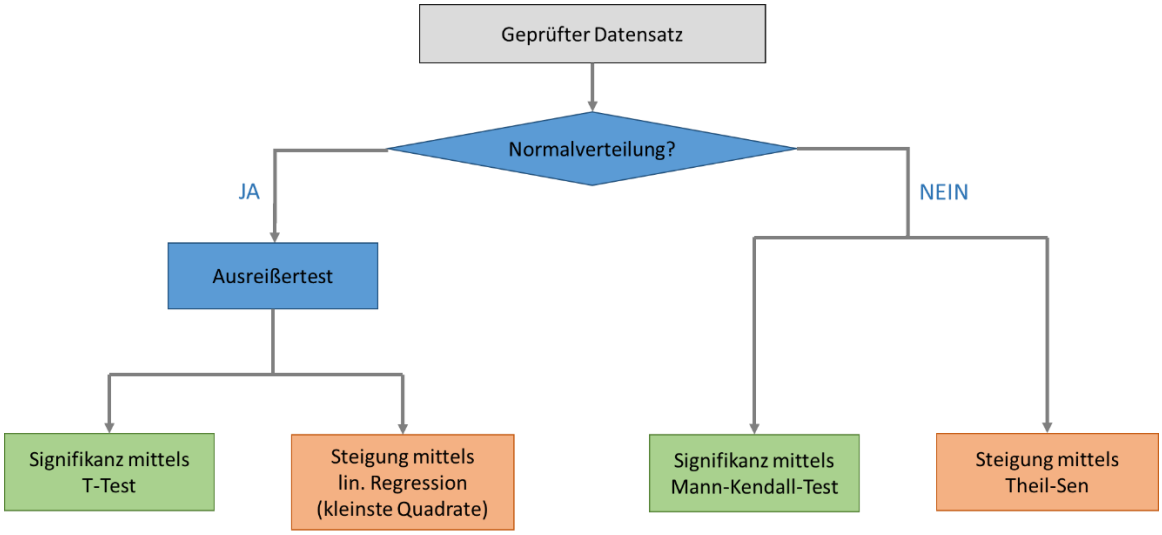


Abbildung 48: Vereinfachte Vorgehensweise zur Ermittlung der Signifikanz des Trends sowie dessen Magnitude (Steigung)

Nach GrwV (2017) ist ein Trend signifikant, wenn die statistische Wahrscheinlichkeit 95% bzw. das Signifikanzniveau 5% beträgt. Dieses Kriterium wurde in der vorliegenden Studie übernommen. Dabei wird jedoch Datenreihen mit schwächeren Trends, d. h. die knapp über dem Signifikanzniveau von 5% liegen, eine Trendeigenschaft gänzlich abgesprochen, weshalb potentielle Aussagen zu schwächer ausgeprägten Trends nicht möglich sind. Aus diesem Grund wurde der Begriff der „Tendenz“ eingeführt. Dabei handelt es sich um schwächer ausgeprägte Trends mit einem Signifikanzniveau von 10%. Abbildung 49 zeigt exemplarisch den Unterschied zwischen einem signifikanten und nicht-signifikanten Trend.

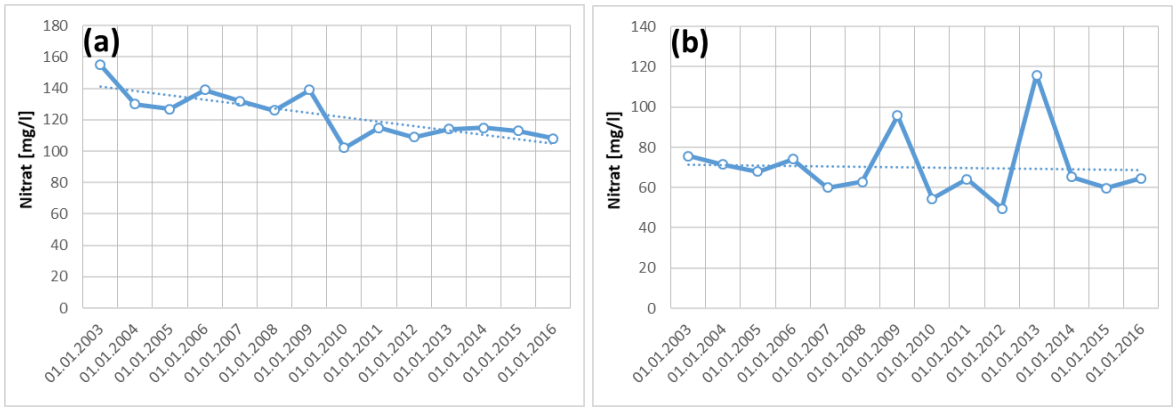


Abbildung 49: Beispiele für Trendanalysen mit signifikant fallendem Trend (a) und nicht-signifikantem Trend (b)

Zur effizienten und fehlerfreien Durchführung der Qualitätssicherung und der statistischen Analyse einschließlich der linearen Regression wurde der Prozess in der Programmiersprache „Python“ automatisiert. So konnte jeder Grundwassermessstelle mit ausreichenden Daten ein Trend zugewiesen

werden, der aus der Steigung der Regressionsgeraden und der Signifikanz des Trends besteht. Die Ergebnisse der Trendanalyse konnten zu durchschnittlichen Nitratkonzentrationen und räumlichen Informationen (Flächenmaßnahmen) in Beziehung gesetzt werden, um so Aussagen treffen zu können, wie sich die Nitratkonzentration von bestimmten Nitratklassen bzw. spezifischen Teilgebieten der Kooperation (z. B. Prämiengebiete) entwickelt. Abschließend wurden die Informationen in komplexe Kartendarstellungen überführt, um eine umfassende räumliche Beurteilung der Belastungssituation im Kooperationsgebiet vornehmen zu können (s. Anhang 10.2).

Die Nitratdaten wurden darüber hinaus mit Sickerwasserkonzentrationen verglichen, die gemäß DVGW & DWA (2019) anhand folgender Gleichung ermittelt wurden:

$$c_{Sick} = \frac{4{,}43 * N_{aus} * AH}{SWR}$$

Dabei sind:

c_{Sick}	Sickerwasserkonzentration Nitrat in mg/l
N_{aus}	Stickstoffaustrag in kg N/ha
AH	Austauschhäufigkeit des Wassers in der durchwurzelbaren Bodenzone in % (max. 100%)
SWR	Sickerwasserrate bzw. Grundwasserneubildung in mm/a

Dabei wurde die Austauschhäufigkeit als Quotient aus Grundwasserneubildung und nutzbarer Feldkapazität berechnet. Dazu wurden Daten aus mGROWA (FZ Jülich 2013) für die Grundwasserneubildung und nutzbare Feldkapazitäten der Bodenkarte 1:50.000 Nordrhein-Westfalen (BK50 NRW[12]) verwendet.

6.4.2 Analyse hydrochemischer Parameter in oberirdischen Gewässern

In den beiden Bearbeitungsgebieten „Stever-Kooperation mit dem Teileinzugsgebiet der Funne“ und „Kerspetalsperre“ wurden angepasste Methoden angewandt, mit dem Ziel, Bezüge zwischen den an Pegeln bzw. Probenahmestellen oberirdischer Gewässer ermittelten Befunden und den primär landwirtschaftlich bedingten Stoffeinträgen in den Teileinzugsgebieten herzustellen unter Berücksichtigung der gegebenen, hydrologischen Randbedingungen. Die Problemstellung war dabei fallspezifisch, weshalb die Methodik der zwei Gebiete nachfolgend einzeln erläutert wird.

6.4.2.1 Bewertung von Pflanzenschutzmittel-Funden in der Funne

Auf Grundlage der Daten zu Maisanbauflächen und Herbizidkonzentrationen in Kombination mit den klimatischen und hydrologischen Daten des Abflusses der Funne, wurden Korrelationen zwischen PSM-Anwendung und Befunden im Gewässer hergestellt und somit auch die Auswirkung der Substitutionsprogramme und getroffenen sonstigen Maßnahmen (z. B. Sonderförderprogramm, Nicosulfuronverzicht). Zur Bewertung des Eintrags von Nicosulfuron bzw. Foramsulfuron wurde eine abschätzende Berechnung vorgenommen, mit deren Hilfe die Herbizidfracht simuliert und zu den im Gerinne vorhandenen Frachten in Beziehung gesetzt wurde. Zur Problembeschreibung mussten geeignete Modelle für folgende Prozesse gewählt werden:

- Abflussbildung,
- Transportmechanismus und
- Abbaumechanismus.

Zur Beschreibung der Abflussbildung wurde das sog. „SCS-Curve-Number“-Verfahren ausgewählt. Hierbei handelt es sich um ein rein empirisches Modell zur Belastungsaufteilung des Niederschlags in Effektivniederschlag bzw. den daraus resultierenden direkten Abfluss (NRCS, 2004a). Hierbei wurde das modifizierte Curve-Number-Verfahren nach Kleeberg & Overland (1989), das die Vorfeuchte miteinbezieht, angewendet.

Um kleinräumige Starkregenereignisse korrekt zu erfassen, wurden an Bodenstationen geeichte Radardaten (RADOLAN) des Deutschen Wetterdienstes verwendet (DWD, 2017). Das zu bearbeitende

[12] https://open.nrw/dataset/ab0f265c-dabe-4bcd-869a-d97dc328c141bkg (letzter Zugriff am 03.09.2019)

Gebiet wurde mit den Parametern Hangneigung, Vorregenindizes und Curve-Number, die aus Zuweisung einer hydrologischen Bodenklasse und der Landnutzung resultiert, parametrisiert. Die Curve-Number beschreibt die Tendenz einer Erdoberfläche zur Abflussbildung und ist von der Landnutzung sowie von den hydraulischen Eigenschaften des Bodens abhängig. Der Wertebereich der Curve-Number liegt zwischen ca. 30 und 100, wobei höhere CN-Werten die Abflussanteile steigern.

Bei der Zuordnung der hydrologischen Bodenklasse wird zwischen den Kategorien A, B, C und D unterschieden, wobei A sehr gut durchlässigen sandigen Böden entspricht und D lehmigen Tonen. Das Einzugsgebiet der Funne zeichnet sich durch lehmige Böden aus, die der hydrologischen Bodenklasse C zugeordnet werden.

Hinsichtlich der Landnutzung wurden die Maisflächen in die Landnutzungskategorie „Reihenkulturen, gerade Reihen“ mit einer geringen Bodenbedeckung bis Ende Juni und mit hoher Bodenbedeckung ab Juli eingestuft. Die resultierenden Curve-Number-Werte stammen aus NRCS (2004b) und betragen entsprechend der Bodenbedeckung CN=88 bzw. CN=85 für die hydrologische Bodenklasse C.

Zur überschlägigen Berechnung der mittleren Geschwindigkeit des oberirdischen Abflusses wurde die Fließformel nach Manning-Strickler angewendet. Die Fließgeschwindigkeit (v) ist abhängig vom Reibungsbeiwert (k_{St}), vom Gefälle (i) und vom hydraulischen Radius (R_h), der wiederum an die Wasserführung gebunden ist. Damit ist die Fließgeschwindigkeit umso größer, je größer der Abfluss ist.

$$v = k_{St} * R_h^{2/3} * i^{1/2}$$

Der Strickler-Beiwert (k_{St}) zur Angabe der Rauheit des Gerinnes wird in der Dimension $m^{1/3}/s$ angegeben. In Jirka & Lang (2009) werden in Abhängigkeit von Bewuchs und Material die verschiedenen Beiwerte für offene Gewässer tabellarisch aufgeführt. Unter der Annahme, dass der oberirdische Abfluss bei einer geringen Tiefe über bewachsenes Gelände strömt, die Rauheit also sehr groß ist, wurde der Beiwert auf 0,1 $m^{1/3}/s$ gesetzt.

Die jeweiligen Geschwindigkeiten geben in Abhängigkeit der Entfernung der einzelnen Schläge zu einem oberirdischen Gewässer an, wann mit einem Eintrag von PSM zu rechnen ist. Dazu wurde von jedem Maisschlag der Abstand zwischen Mittelpunkt der Ackerfläche zum Gewässer (Funne oder Zufluss) gemessen. Ausschlaggebend für die Entfernungsmessung war nicht das nächstgelegene Gewässer, sondern die Fließrichtung anhand des Gefälles, welches durch die topographischen Höhenlinien vorgegeben war. Die einzelnen Schläge wurden hinsichtlich ihrer Entfernung klassifiziert und für die weiteren Berechnungen als ein oberirdisches Teileinzugsgebiet angesehen.

Harnischmacher (2002) gibt für die Funne eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 0,53 m/s an. Das entspricht 45 km/d, denen eine Flusslänge vom Quellgebiet bis zum Pegel von ungefähr 16,6 km gegenübersteht. Damit können auch die geringeren Fließgeschwindigkeiten in den Zuflüssen der Funne vernachlässigt werden.

Der Abbau (dt_{50}) von Nicosulfuron bzw. Foramsulfuron in Abhängigkeit der vorherrschenden Umweltbedingungen stark variabel. Da der Boden-pH nach Angeben des Beraters der Landwirtschaftskammer als eher neutral bis leicht sauer zu erwarten ist, wurde eine DT50 von 30 Tagen für Nicosulfuron und von 20 Tagen für Foramsulfuron zugrunde gelegt.

Zusätzlich wurde ein Verdünnungsfaktor hinzugefügt, der sich aus den Niederschlägen ergibt. Abzüglich der Evapotranspiration ergibt sich aus der Division der ursprünglichen Wassermenge und der Aufsummierung mit der neu hinzukommenden Wassermenge ein Verdünnungsfaktor F. Dieser wird neben dem Abbau durch die DT50 zusätzlich multipliziert, so dass sich folgende erweiterte Formel ergibt:

$$C_{t+1} = C_t * 0{,}5^{\,t/DT50} * F$$

Die Konzentrationen werden für jedes Teileinzugsgebiet berechnet und in Abhängigkeit der mit Manning-Strickler ermittelten Geschwindigkeit für die Frachtberechnung genutzt. Das bedeutet, dass, sobald anhand der tageweisen Aufsummierung der Fließgeschwindigkeit eine Entfernungsklasse erreicht wird, diese Konzentrationen dazu addiert werden. In Abbildung 50 ist dieses Vorgehen als Schema vereinfacht dargestellt.

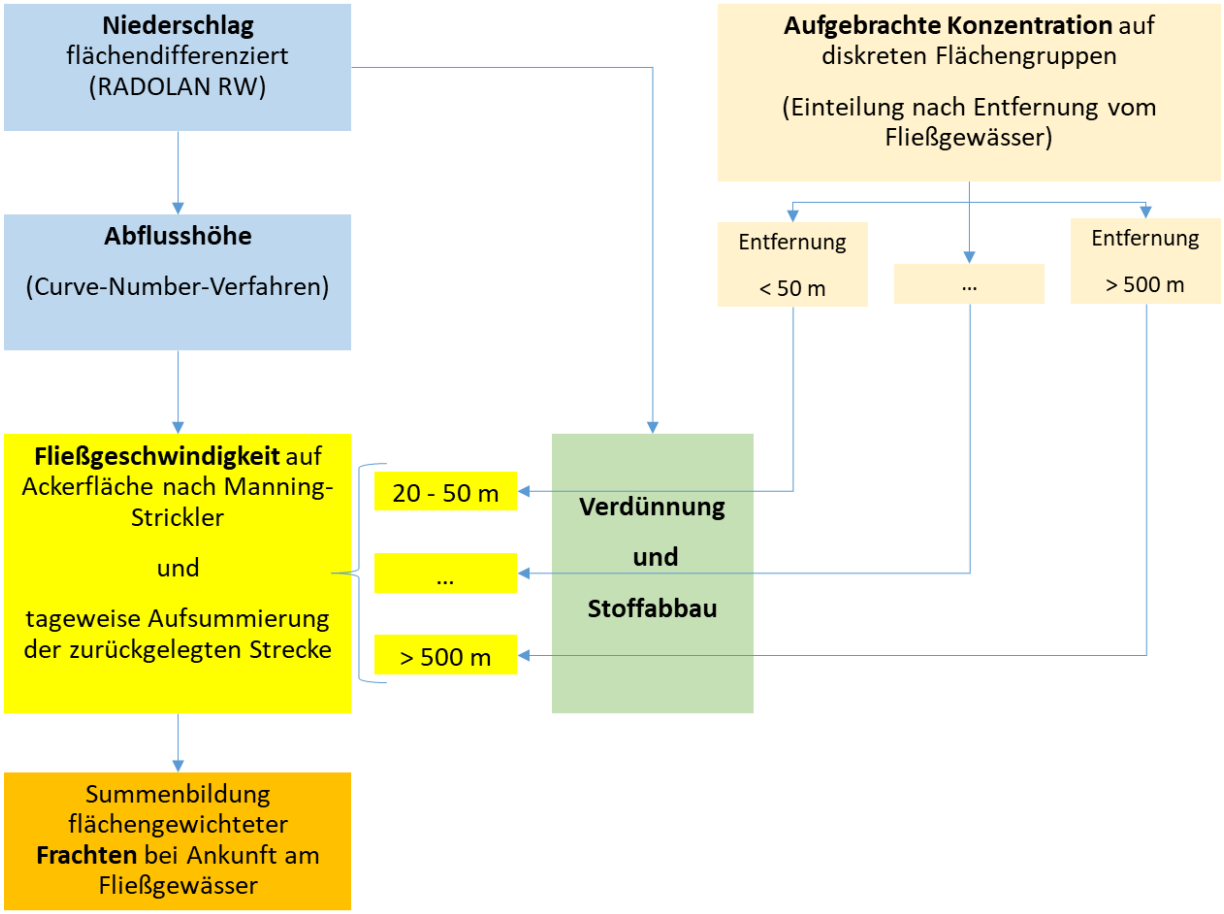


Abbildung 50: Vereinfachtes Schema zur Berechnung der Herbizidfracht

Folgende Eingangsdaten waren für die Modellbildung notwendig:

- Niederschläge,
- Hangneigung,
- Evapotranspiration und
- die Stoffaufwandmenge.

Für die Berechnung der Direktabflüsse wurden flächendifferenzierte Niederschläge (RADOLAN RW des DWD mit 1 x 1 km Rastern) verwendet, da die lokale Ausprägung von Starkregenereignisse nicht immer adäquat durch Wetterstationen abgebildet werden kann. Die Hangneigungen wurden aus einem digitalen Geländemodell (SRTM 30) abgeleitet (Farr et al., 2007). Als durchschnittliche Hangneigung auf den Schlägen mit Maisanbau wurden als Polygonmittelwert 2,5% ausgewiesen. Das CN-Verfahren wurde zur Ermittlung der Abflussbildung bei Hochwasserereignissen entwickelt, in der die Verdunstung bei einzelnen Ereignissen praktisch keine Rolle spielt. Für die hier durchzuführende Langzeitbetrachtung ist diese Annahme ungültig. Vom FZ Jülich lagen für die Jahre 1971 bis 2000 aggregierte Ergebnisse des Modelles mGROWA (FZ Jülich 2013) vor. Aus den vorhandenen Rasterdaten wurde eine mittlere Evapotranspiration von 64% ermittelt.

Die maximalen Aufwandmengen von Nicosulfuron und Foramsulfuron betragen jeweils 40 und 30 g/ha, die nach den Angaben des Beraters der LWK in 250 l Wasser pro Hektar gespritzt werden. Daraus ergibt sich eine Konzentration von 0,16 g/l auf den behandelten Maisflächen. Unter der Annahme, dass etwa 70% des Mittels auf der Pflanze verbleiben, gelangen 0,05 g/l auf und in den Boden.

Die Stoffe werden jedoch nur auf Maisflächen aufgebracht. Bezogen auf die gesamte Größe des Einzugsgebiets von 3868,7 ha ergibt sich daher, z. B. für das Jahr 2012 mit 400 ha Maisanbau, eine Konzentration von annähernd 0,005 g/l. Der Transport durch Direkt- bzw. Oberflächenabfluss auf den

Ackerflächen wird nach dem oben beschriebenen Schema (Curve-Number-Verfahren, Manning-Strickler) abgeschätzt.

Aufgrund des überwiegenden Fruchtwechsels und des deswegen nicht relevanten Anwendungsverbots von Nicosulfuron nach Vorjahreseinsatz ist davon auszugehen, dass 2012 alle Maisflächen mit diesem Wirkstoff behandelt wurden. Als Zeitpunkt der Aufbringung wurde für alle Schläge der 15. Mai gewählt. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Einsatz von Nicosulfuron nur alle zwei Jahre erfolgen darf und nicht genau bekannt ist, wie hoch der Flächenanteil ist, in dem Nicosulfuron angewendet wird. Diese Tatsache stellt eine große Unschärfe bei der Modellbildung dar.

6.4.2.2 Nitrat in den Zuläufen zur Kerspetalsperre

An der Kerspetalsperre streben wir eine ähnliche Methodik an und haben hier mit den an mehreren Entnahmestellen in den oberirdischen Zuläufen (Kleingewässern) zur Talsperre gemessenen Nitratwerten des Wupperverbandes ebenfalls eine sehr gute Datenbasis des Versorgers zur Verfügung. Es ist beabsichtigt, die oben dargelegte Analyse für die aufgrund der Maßnahmenumsetzung veränderten Stickstofffrachten für mehrere Teileinzugsgebiete (der unterschiedlichen Zuläufe zur Talsperre) durchzuführen.

Somit sollen die Auswirkungen von Flächenmaßnahmen (z. B. Grünlandnachsaat, Zwischenfrüchte nach Mais und Getreide) auf die Stickstoffeinträge bestimmt werden. Es ist zu überprüfen, ob der Einfluss von Maßnahmen, die keine Umsetzung in der Fläche finden (z. B. Erweiterung Lagerkapazität Wirtschaftsdünger, bauliche Verbesserungen an Hofstellen hinsichtlich Sammlung und Ableitung von Niederschlagswasser) bestimmt bzw. geschätzt werden kann.

Die Datengrundlage für die durchgeführten Maßnahmen und deren Bewertung bilden:

- Nitratkonzentrationen im oberirdischen Gewässer (monatlich),
- modellierte Gerinneabflüsse (stündlich),
- Flächenanteil der Umsetzung von T200 (jährlich) und
- Informationen zu baulichen Veränderungen, z. B. Erweiterung Güllelager oder Beseitigung von Hot Spots (jährlich).

Die Ergebnisse der Abflussmodellierung wurden vom Wupperverband bereitgestellt. Zur Bestimmung von Nitratfrachten wurde die Nitratkonzentration des jeweiligen Tages im Monat mit dem entsprechenden Tagesmittelwert des Abflusses multipliziert. Daraus ergaben sich zwölf Tagesfrachten pro Jahr und Messpunkt. Die Datengrundlage mit monatlichen Nitratkonzentrationen erlaubt damit eine maximal monatlich aufgelöste Analyse der Maßnahmenwirkung der Düngung zum Vegetationsbeginn gemäß Temperatursumme T200.

6.5 Akzeptanzanalyse von Trinkwasserschutzmaßnahmen und Kooperationsarbeit in den untersuchten Wasserschutzgebieten

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Akzeptanzanalyse unter den Landwirten der an der Studie teilnehmenden Kooperationen durchgeführt. Mittels einer Online-Befragung wurde untersucht, welche Faktoren die Akzeptanz der Landwirte bei der Kooperationsarbeit insgesamt und bei Gewässerschutzmaßnahmen bzw. Beratung im Einzelnen beeinflussen. Wie in Umfragen zur Akzeptanz von Gewässerschutz- bzw. Naturschutzmaßnahmen üblich, wurde dabei auf eine Mischung von Mehrfachwahlfragen, Skalenfragen (Likert-Skala), Ergänzungsfragen und offenen Fragen geachtet. Der vollständige Fragebogen befindet sich in Anhang 10.4.

Die Online-Befragung war in fünf Teile gegliedert, die nach einer ersten Begrüßungs- und Einleitungsseite auf fünf unterschiedlichen Webpages aufzufinden waren. Teil 1 erhob Daten zum landwirtschaftlichen Betrieb (u. a. Größe, in welcher der fünf Regionalen Arbeitsgemeinschaften Landwirtschaft/Wasserwirtschaft sich der Betrieb befindet). In Teil 2 wurden Daten zur Kooperationsarbeit des Betriebs (u. a. Dauer der Mitgliedschaft in der Kooperation) abgefragt. Teil 3 stellte Fragen zur über-

geordneten Kooperationsarbeit, während Teil 4 Fragen zu den umgesetzten Flächenmaßnahmen beinhaltete und Teil 5 Fragen der Gewässerschutzberatung thematisierte. In einer letzten offenen Frage wurde es Landwirten ermöglicht, Vorschläge zur Verbesserung der Kooperationsarbeit einzureichen.

Insgesamt wurden 178 Fragebögen mit Antworten eingesendet, wovon 161 Fragebögen in die Analyse miteinbezogen werden konnten. Da es in der Umfrage keine Pflichtfragen gab, wurde für jede der 24 Fragen eine unterschiedliche Anzahl von Antworten abgegeben. Bei geschlossenen Fragen (Skalenfragen, Einfachwahlfragen, Mehrfachwahlfragen) waren es weitestgehend über 140 Antworten, offene Fragen (z. B. Ideen für Verbesserungsvorschläge) erhielten dagegen lediglich ca. 10 Antworten. Tabelle 9 bietet eine Zusammenfassung des Fragebogens (mit Wahlmöglichkeiten pro Frage, bei Skalenfragen mit Antworten am Anfang und Ende der jeweiligen Skala) und fasst die Zahl der Antworten pro Frage zusammen. Kapitel 7.3 fasst die Ergebnisse der Akzeptanzanalyse zusammen.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Fragen, Fragetypen, mögliche Antworten (bei Skalenfragen, Einfachwahlfragen, Mehrfachwahlfragen) und Anzahl der Antworten für die Online-Befragung „Akzeptanz des kooperativen Trinkwasserschutzes in NRW“.

Frage	Fragetyp	Anzahl Antworten
1. Wieviel Fläche bewirtschaften Sie aktuell? Wie viel davon im Kooperationsgebiet?	Ergänzungsfrage	156
2. Welche vier Hauptkulturen bauen Sie an?	Ergänzungsfrage	158
3. Falls zutreffend, geben Sie bitte die Großvieheinheiten pro ha (GVE / ha) in ihrem Betrieb an. [0 bis 1,5 GV/ha; 1,5 bis 2,5 GV/ha; 2,5 bis 3,5 GV/ha; > 3,5 GV/ha]	Mehrfachwahlfrage (4 Wahlmöglichkeiten)	148
4. In welcher der regionalen Arbeitsgemeinschaften NRWs befindet sich Ihre Kooperation? [RAG Ostwestfalen-Lippe; RAG Mittelgebirge; RAG Münsterland; RAG Niederrhein; RAG Köln-Aachener Bucht]	Mehrfachwahlfrage (5 Wahlmöglichkeiten)	158
5. Seit wie vielen Jahren nehmen Sie an der Kooperation teil?	Ergänzungsfrage	150
6. Welche Kategorien von Kooperationsmaßnahmen haben Sie im Bewirtschaftungsjahr 2018 in Anspruch genommen? [Beratung; Nährstoffvergleiche / Nährstoffplanung; Flächenmaßnahmen; Förderung von Technik; Weitere]	Mehrfachwahlfrage (5 Wahlmöglichkeiten)	161
7. Werden Flächenmaßnahmen in Ihrem Gebiet: [pro umgesetzte Maßnahme gefördert? nach dem Prämienmodell gefördert? sowohl a) als auch b)?]	Mehrfachwahlfrage (3 Wahlmöglichkeiten)	95
8. Für Ihre freiwillige Teilnahme an der Kooperationsarbeit in Ihrem Wasserschutzgebiet, wie groß ist die Bedeutung folgender Aspekte? [Zugang Wasserschutzberatung; Verbesserung des landwirtschaftlichen Netzwerks; Finanzieller Anreiz; Zugang zu weiteren Ressourcen der Kooperation; Beitrag zur Verbesserung des Images der Landwirtschaft in der Gesellschaft; Beitrag zur Verbesserung des Ansehens des eigenen Betriebes; Beitrag zur Verbesserung des Natur- und Umweltschutzes; Weitere.] [Sehr wichtig; Überhaupt nicht wichtig]	Skalenfrage (5 Kategorien)	159
9. Sind für Sie die Entscheidungen in der Kooperation nachvollziehbar? [Trifft zu; Trifft nicht zu]	Skalenfrage (5 Kategorien)	154
10. Finden Sie, dass in Ihrer Kooperation die Kooperationsvereinbarung zw. Wasserversorgern und Landwirten förderlich für eine Teilnahme sei? [Trifft zu; Trifft nicht zu]	Skalenfrage (5 Kategorien)	155
11. Wie finden Sie in Ihrer Kooperation: [Planung Wasserschutzmaßnahmen; Beratung Maßnahmenumsetzung; Spielräume in Umsetzung; Betreuung insgesamt]	Skalenfrage (5 Kategorien)	153

Frage	Fragetyp	Anzahl Antworten
[Ausreichend; Nicht ausreichend]		
12. Wie bewerten Sie in Ihrer Kooperation den Toleranzbereich bei der Umsetzung? [Reaktionsmöglichkeiten gegeben; Reaktionsmöglichkeiten nicht gegeben]	Skalenfrage (5 Kategorien)	143
13. Haben Sie Vorschläge, wie die Attraktivität einer Teilnahme an Ihrer Kooperation erhöht werden kann?	offene Frage	11
14. Ihrer Meinung nach, wie gut passen die geförderten Flächenmaßnahmen (FM) zu Ihren Betriebsabläufen? [FM lassen sich gut integrieren; FM passen nicht zur betrieblichen Realität]	Skalenfrage (5 Kategorien)	138
15. Wie wichtig sind Ihnen folgende Aspekte in der Umsetzung von Flächenmaßnahmen? [Ausgeglichenes Verhältnis Auflagen und Ausgleichszahlung; Geringer Zeitaufwand Maßnahmenumsetzung; Maßnahme lässt sich mit vorhandener Technik umsetzen; Maßnahme lässt sich umsetzen ohne neue Kenntnisse; Maßnahme lässt sich gut in den Betriebsablauf integrieren; Maßnahme ist Landwirt vertraut] [Sehr wichtig; Überhaupt nicht wichtig]	Skalenfrage (5 Kategorien)	142
16. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich ein gewisses Maß an Bürokratie bei dem kooperativen Gewässerschutz nicht vermeiden lässt, wie würden Sie Ihren "bürokratischen" Aufwand in der Kooperationsarbeit einschätzen? [Gering; Zu hoch]	Skalenfrage (5 Kategorien)	145
17. Wie bewerten Sie die Mitgestaltungsmöglichkeiten der Landwirte in der Arbeit Ihrer Kooperation? [Gut; Nicht gut]	Skalenfrage (5 Kategorien)	137
18. Welcher Aussage würden Sie eher zustimmen? [Kurzfristige (z. B. einjährige) Vereinbarungen sind einer Teilnahme in Kooperationsmaßnahmen förderlich, da ich so flexibel auf Veränderungen im Betrieb / der Agrarmärkte reagieren kann; Längerfristige (mehrjährige) Vereinbarungen sind für eine Teilnahme an Kooperationsmaßnahmen förderlich, da sie meine Planungssicherheit erhöhen]	Einfachwahlfrage (2 Wahlmöglichkeiten)	140
19. Könnten Sie sich vorstellen, um eine Maßnahme umzusetzen sich neue Technik anzuschaffen, ggf. in Zusammenarbeit gehen mit benachbarten landwirtschaftlichen Betrieben? [Ja; Nein]	Einfachwahlfrage (2 Wahlmöglichkeiten)	146
20. Haben Sie Vorschläge, wie die Akzeptanz unter Landwirten der von Ihnen umgesetzten Maßnahmen erhöht werden kann?	offene Frage	18
21. Klärt die Beratung ausreichend auf hinsichtlich: [Wirkungsweise der Maßnahmen; Wie Maßnahmen umzusetzen sind; Aufdecken betriebsspezifischer Möglichkeiten zur Reduzierung N-Düngung; Aufdecken betriebsspezifischer Möglichkeiten zur Reduzierung PSM-Einsatz; Bedeutung Maßnahmen für Gewässerschutz; Rechtliche Lage] [Trifft zu; Trifft teilweise zu; Trifft nicht zu]	Skalenfrage (5 Kategorien)	143
22. Für wie wichtig empfinden Sie in der Beratung: [Gutes Verhältnis zum Berater; Vertrauensbasis im Beratungsverhältnis; Eigeninitiative des Beraters hinsichtlich Beratungsmöglichkeiten; Wissen des Beraters; Weitere] [Sehr wichtig; Überhaupt nicht wichtig]	Skalenfrage (3 Kategorien)	146
23. Haben Sie Vorschläge, wie die Beratung in Ihrem Gebiet verbessert werden könnte?	offene Frage	10
24. Haben Sie sonst Verbesserungsvorschläge für die Kooperationsarbeit?	offene Frage	10

7 Ergebnisse der Untersuchungen

7.1 Stickstoffgehalte aus Bodenuntersuchungen (Herbst-N_{min})

7.1.1 Emmerich-Helenenbusch

7.1.1.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Emmerich-Helenenbusch liegt nördlich der Stadt Emmerich, die rechtsrheinisch und im Norden des Kreis Kleve liegt. Das Gesamtgebiet ist 10,6 km^2 groß und wird von der Autobahn A-3 in einem nördlichen (ca. 1/3 der Gesamtfläche) und südlichen Teil (ca. 2/3 der Gesamtfläche) getrennt. Die gesamte landwirtschaftliche Fläche im WSG beträgt 612 ha, ungefähr die Hälfte davon befindet sich nördlich, die andere Hälfte südlich der Autobahn. Südlich der A-3 gibt es darüber hinaus auch Forst- und Siedlungsflächen. Auch südlich der Autobahn befinden sich sowohl die Produktionsbrunnen als auch ein gesondertes Extensivierungsgebiet, in welchem Prämien nach erreichtem Herbst-N_{min}-Wert ausgezahlt werden, das 106 ha landwirtschaftliche Nutzfläche umfasst und sich beinahe kreisförmig um die Produktionsbrunnen erstreckt. Die Karte im Anhang 10.2.1 zeigt das Wasserschutzgebiet, mitsamt Produktionsbrunnen, Wasserschutzzonen und Extensivierungsgebiet.

Die Kooperationsarbeit begann im Jahr 1990. Im Jahr 1996 wurde innerhalb des Kooperationsgebiets ein Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell vereinbart; zusammen mit dem WSG Kleve waren dies die ersten Gebiete in NRW, die ein Prämienmodell umsetzten. Die Entscheidung über die Lage des Extensivierungsgebiets wurde auf Grundlage einer gutachterlichen Studie beschlossen. Zur Nähe zu den Produktionsbrunnen kommen leichte Böden in diesem Gebiet und die Tatsache, dass man aufgrund des Autobahnbaus viel Boden in diesem Areal abgetragen hatte. Dagegen sind die Böden nördlich der Autobahn schwer. Die Begrenzung auf 106 ha für ein Prämiengebiet war auch eine Frage der ursprünglich zur Verfügung stehenden Geldmittel.[13] Die Fruchtartenverteilung **für das Extensivierungsgebiet** im Zeitraum 2010-17 wird in Abbildung 51 dargestellt.

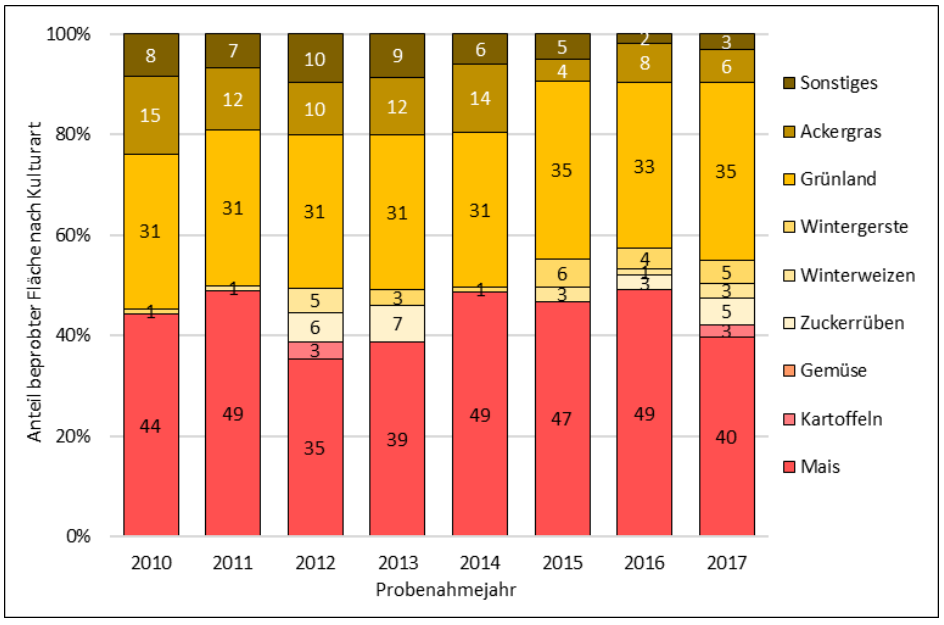


Abbildung 51: : Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – Prämiengebiet WSG Emmerich-Helenenbusch (Zeitraum 2010 - 2017)

[13] Nach 2017 wurde das Extensivierungsgebiet nach Angaben des Beraters vergrößert. Da diese Vergrößerung außerhalb des untersuchten Zeitraumes liegt fließt sie nicht mit in die Analyse ein.

An der Grafik lässt sich ein hoher Grünland- und Ackergrasanteil, wie auch ein hoher Maisanteil an der landwirtschaftlichen Fläche erkennen. Dies ist das Resultat einer starken Ausrichtung auf die Milchviehhaltung der dort ansässigen Landwirtschaft.

In roten Farben werden potentielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr dargestellt: Mais, Kartoffeln und Gemüse. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen. Alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst.

Die jährlichen Schwankungen der Kulturanteile in der Grafik sind auf die begrenzte Hektarzahl der dargestellten Flächen (die 106 ha des Extensivierungsgebiets) zurückzuführen, wodurch die gemäß Fruchtfolge üblichen Kulturwechsel auf einzelnen Flächen relativ starke Auswirkungen auf den Kulturanteil eines gegebenen Jahres haben können. Diese Veränderungen sind dementsprechend nicht als Ausdruck relevanter Verschiebungen der im Extensivierungsgebiet angebauten Kulturen bzw. des Anteils an Problemkulturen zu deuten.

Der Anteil an den sogenannten „Problemkulturen“ schwankt zwischen 38 und 49%, und wird praktisch ausschließlich von Silomais repräsentiert. Dieser Anteil an Problemkulturen ist vergleichsweise hoch, wird aber durch die hohen Ackergras- und Grünlandanteile ausgeglichen, bei denen ein vergleichsweise geringer Rest-N_{min}-Wert vorzufinden ist. Darüber hinaus sind die Werte für Mais in diesem Gebiet extrem niedrig, womit in diesem Fall kaum von einer „Problemkultur“ die Rede sein kann. Schläge mit Zuckerrübenanbau nahmen in den letzten Jahren ca. 5% der Fläche des Extensivierungsgebiets ein, womit der Flächenanteil an Sommerungen zwischen 44 und 52% im betrachteten Zeitraum lag. Der Anteil an der Fläche vom Getreideanbau liegt im Extensivierungsgebiet zwischen 1 und 9%, und ist damit vergleichsweise sehr niedrig. Grünland und Ackergras nehmen gemeinsam einen Flächenanteil zwischen 39 und 46% ein.

Die Intensität der Landwirtschaft um das WSG Emmerich-Helenenbusch kann als moderat eingestuft werden. Der Viehbesatz für die Gemeinde Emmerich ist mit 1,9 GVE/ha zwar relativ hoch, jedoch sind die modellierten N-Bilanzüberschüssen, die für diese Gemeinde im Projekt GROWA+ NRW2021 berechnet wurden, lediglich in der mittleren Klasse („40 bis unter 50 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017) und damit im Vergleich mit den weiteren WSG in dieser Studie auf einem eher geringen Niveau (vgl. Tabelle 15).

Bezogen auf die im Extensivierungsgebiet angebauten Kulturen (vgl. Abbildung 51) scheint sich die Intensität der in den WSG betriebenen Landwirtschaft zum untersuchten Zeitraum nicht wesentlich geändert zu haben.

7.1.1.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Wie oben angerissen gibt es im WSG zwei Formen der Kooperationsarbeit: Zum einen wird in den kreisförmig um die Produktionsbrunnen liegenden Gebiet das Prämienmodell („Extensivierungsgebiet“, 106 ha) angewandt. Zum anderen wird in den verbleibenden landwirtschaftlichen Flächen (506 ha) ein Ausgleich für die Umsetzung einzelner Maßnahmen durchgeführt. In beiden Gebieten werden die gleichen Beratungsleistungen angeboten.

Fördermodalität im Prämiengebiet

Im Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell (Ausgleichszahlung nach erreichtem Herbst-N_{min}-Wert) werden Ackerbauflächen und Grünlandflächen unterschiedlich behandelt.

Alle Ackerbauflächen mit einem Herbst-N_{min}-Wert unter einem Grenzwert - der derzeit bei 50 kg N-NO_3^-/ha liegt - erhalten eine Prämie. (Dieser Grenzwert lag vor einigen Jahren noch bei 53,5 kg N-NO_3^-/ha, wurde dann auf 52 kg N-NO_3^-/ha und vor kurzem noch einmal auf 50 kg N-NO_3^-/ha gesenkt.) Die Prämie für die Einhaltung des Grenzwerts beträgt 380 €/ha. Es gibt Auflagen für die Ackerbauflächen, darunter:

1. Eine kulturspezifische, reduzierte N-Düngung
2. Pflicht zur Winterbegrünung (soweit in der Fruchtfolge möglich)

Darüber hinaus werden nicht bindende Beratungsempfehlungen an die Landwirte ausgesprochen, wie z. B. der Verzicht auf eine Bodenbearbeitung nach der Maisernte bis zum Frühjahr.

Zu dieser Prämie kommt ein weiterer Anreiz für die Landwirte, niedrige Werte auf ihren Flächen zu erzielen: die „Zusatzprämie“. Für alle Flächen, deren Wert unter dem Grenzwert liegt, wird ein arithmetischer Mittelwert gebildet. Wenn eine Probe diesen Mittelwert um mehr als 30% unterschreitet, wird eine Zusatzprämie von 100 €/ha ausgezahlt. Diese Zusatzprämie wurde auf Anregung der Landwirte im WSG ins Leben gerufen, die nach Leistung bezahlt werden wollten, jedoch Bandbreiten mit festen Werten ablehnen, da externe Einflüsse (z. B. Witterung) ihre Einhaltung unmöglich machen können oder aber Zahlungen für Werte verursachen könnten, welche nicht von den Landwirten geleistet, sondern über die Witterung hervorgerufen wurden. Im Jahr 2017, als die Werte im WSG vergleichsweise niedrig waren, lag dieser Mittelwert bei 18 kg N-NO_3^-/ha; die Zusatzprämie wurde also für Proben unter 12,6 kg N-NO_3^-/ha ausgezahlt.

Ein interessanter Aspekt stellt die Kombination im Prämiengebiet von Prämien (+ Zusatzprämie) mit der Förderung einzelner, weiterführender Maßnahmen dar. Bei Einhaltung gewisser Bedingungen (die auch die Vorkultur betreffen) wird der Anbau von Sommergetreide (160 €/ha) und eine Mulchsaat von Mais und Zuckerrüben (65 €/ha) zusätzlich gefördert.

Grünlandflächen, die unter dem Herbst-N_{min}-Grenzwert liegen, werden auf der gleichen Basis wie die Ackerbauflächen vergütet – die ausgezahlte Prämie liegt mit 320 €/ha leicht unter der Prämie für Ackerbauflächen. Die Auflagen für eine extensive Grünlandbewirtschaftung werden gesondert für Beweidungs-, Schnittnutzungs- und Mähweideflächen definiert. Bei Letzteren ist ebenfalls eine Kombination aus Prämie und gesondert vergüteter Maßnahme möglich: Mähweideflächen mit Herbstschnitt erhalten zusätzlich 150 €/ha. Die Beratung im WSG umfasst die in einer Wasserschutzberatung üblichen Werkzeuge, insbesondere Nährstoffvergleiche.

Kooperationsarbeit im Maßnahmengebiet

Im restlichen WSG werden die Flächenmaßnahmen „Förderung des Zwischenfruchtanbaus“ (Übernahme der Saatgutkosten bis 60 €/ha), „Mulchsaat von Zuckerrüben und Mais“ (in Zwischenfruchtbestand, 125 €/ha) und „Gülleausbringung mit bodennaher Technik“ (auf Getreide und in stehenden Maisbeständen) gefördert. Nach Angaben des Beraters wird dieses Maßnahmenangebot allerdings kaum wahrgenommen. Bei Mulchsaat z. B. liegt der Durchschnitt bei ca. 25 ha/Jahr (bei einer Fläche von über 500 ha). Auch die Zwischenfruchtförderung wird selten wahrgenommen, da die Landwirte, die sie anbauen, sie in der Regel noch vor dem frühestmöglichen Umbruchtermin des Maßnahmenkatalogs (21.12.) einarbeiten. Bedingt durch die schweren Böden im restlichen WSG werden die Felder üblicherweise bis spätestens November gepflügt, da Landwirte zwecks Bearbeitbarkeit auf die Wirkung der Frostgare vor der Aussaat der Sommerung nicht verzichten können.

Nach Angaben des Wasserschutzberaters werden die Landwirte im restlichen WSG genauso beraten wie im Extensivierungsgebiet. Zusätzlich zur Erstellung der Nährstoffvergleiche, die wie überall als Kernelement der Beratung und als Türöffner für Empfehlungen fungieren, kommt auch das Angebot von Frühjahrs-N_{min}-Proben, die eine angepasste Stickstoffdüngung ermöglichen.

Die Kooperationsarbeit im WSG Emmerich-Helenenbusch ähnelt von der Struktur her der Kooperationsarbeit im WSG Hartefeld, da die Gesamtfläche des WSGs in ein „Prämiengebiet“ (Landwirte werden nach Herbst-N_{min}-Werte gefördert) und ein „Beratungsgebiet“ (es werden keine bzw. kaum Maßnahmen gefördert, der Schwerpunkt der Kooperationsarbeit liegt in der Beratung) aufgeteilt werden kann. Während im WSG Hartefeld sowohl im Prämien- als auch im Beratungsgebiet Herbst-N_{min}-Proben gezogen werden, dort also ein Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte in beiden Gebieten möglich ist, liegen im WSG Emmerich-Helenenbusch lediglich Herbst-N_{min}-Werte für das Prämiengebiet vor.

Mithilfe der landwirtschaftlichen Daten ist somit lediglich eine Ergebnisauswertung der Kooperationsarbeit in diesem Prämiengebiet („Extensivierungsgebiet“) möglich; die Erfolge der Beratungsarbeit im restlichen WSG kann mittels den zur Verfügung gestellten landwirtschaftlichen Daten nicht bewertet werden.

7.1.1.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im Prämiengebiet

In der Abbildung 52 werden die jährlichen Durchschnittswerte (flächengewichtet) für das Extensivierungsgebiet für den Zeitraum 2010 – 2017 dargestellt.

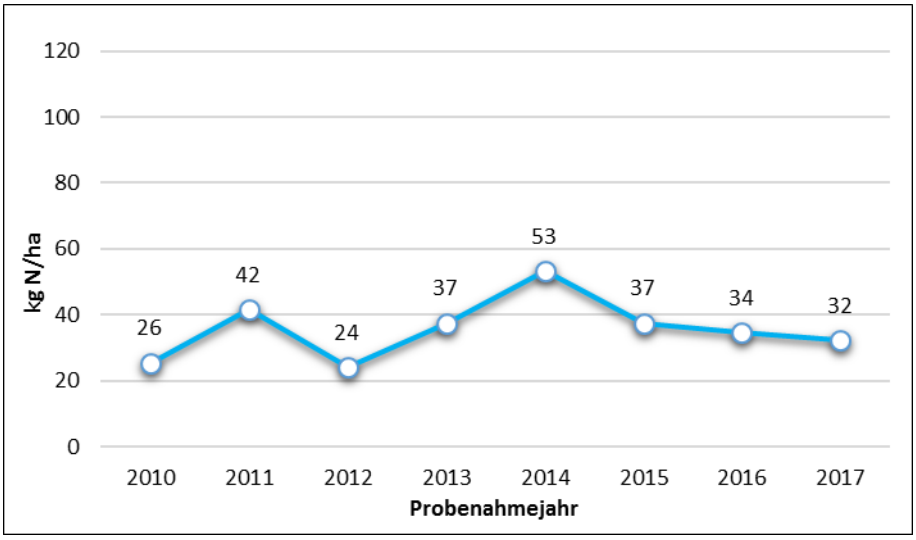


Abbildung 52: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für das Extensivierungsgebiet im WSG Emmerich-Helenenbusch

Mit lediglich zwei von acht Jahren, in denen ein Durchschnitt von über 40 kg N-NO_3^-/ha der Herbst-N_{min}-Werte vorlag, sind vergleichsweise zu den weiteren untersuchten Kooperationen in NRW sehr niedrige Werte im Prämiengebiet vorzufinden. Es sind keine eindeutigen Trends zu erkennen für diesen Zeitraum. Ein deutlich abnehmender Trend ist bei diesen Werten und bei einer Kooperation, die bereits in 1990 die Arbeit aufnahm und im Jahr 1996 auf ein Extensivierungsmodell umstellte, nicht unbedingt zu erwarten. Die Erfahrungen zeigen, dass in den ersten Jahren nach Beginn der Kooperationsarbeit die stärksten Rückgänge der Herbst-N_{min}-Werte zu verzeichnen sind und daraufhin mit längerer Zeit die Werte nur noch langsam abnehmen bzw. sich auf einem gewissen Niveau „einpendeln“.

Abbildung 53 zeigt die Durchschnittswerte pro Kultur für den Zeitraum 2014 – 2017.

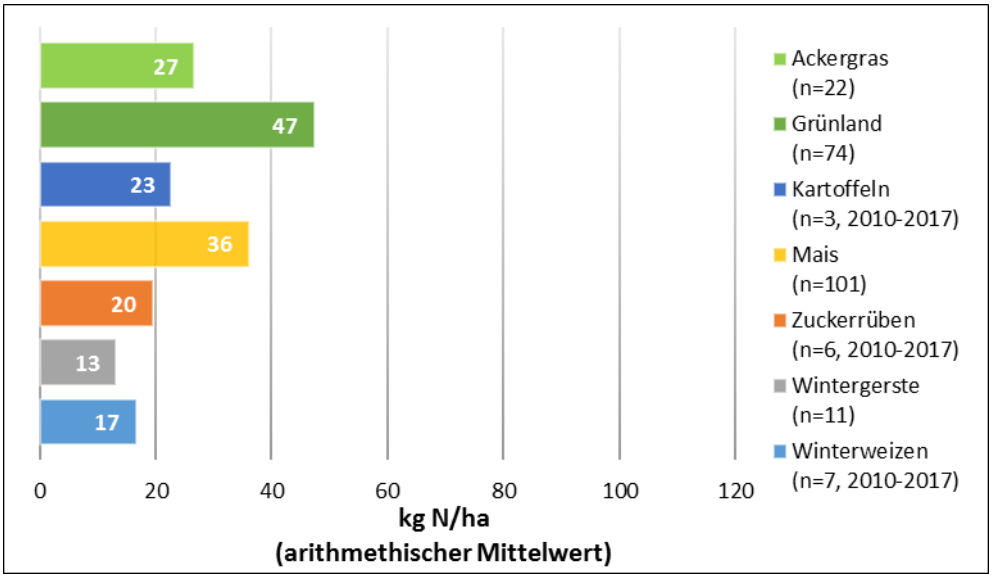


Abbildung 53: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres – Prämiengebiet WSG Emmerich-Helenenbusch

In der Abbildung 53 stechen die guten Werte für die Sommerungen Kartoffeln, Zuckerrüben (beide allerdings mit extrem geringen n-Zahlen) und Mais hervor. Der Durchschnittswert für Mais, der im Gebiet durchschnittlich. 45% der landwirtschaftlichen Fläche einnimmt und zu 100% Silomais ist, ist mit 36 kg N-NO_3^-/ha beeindruckend gering. Grob gesprochen und mit ein paar wenigen Ausnahmen wird auf ungefähr zwei Dritteln der Maisflächen im Extensivierungsgebiet Mais in (fast) Monokultur angebaut, auf dem restlichen Drittel wechselt sich der Silomais jährlich mit Wintergetreide (Weizen, Gerste, Roggen und Triticale) ab. (Das oben erwähnte Zusatzpaket „Sommergetreide" für das Prämiengebiet wurde in den letzten Jahren nach Mais nicht wahrgenommen.) Dabei liegt der Wert für Flächen mit mehrjährigem Mais (38 kg N-NO_3^-/ha) auf dem gleichen Niveau der Flächen mit Wintergetreide als Vorfrucht (36 kg N-NO_3^-/ha) – es ist also kein Vorfruchteffekt erkennbar, der sich im niedrigen Durchschnittswert für Mais niederschlagen würde. Dies zeigt, dass eine sorgfältige Düngung mit Einhaltung der Beratungsempfehlungen (keine Bodenbearbeitung nach der Maisernte, Pflugfurche frühestens ab dem 15. Januar) zu sehr guten Ergebnissen für diese in der Regel problematische Kultur führen kann. Der wirtschaftliche Anreiz aufgrund der beachtlichen Prämien spielt an dieser Stelle mit hoher Wahrscheinlichkeit eine nicht unwichtige Rolle, um den Landwirt zu einer angepassten Düngung (mit den möglichen Ertragsverlusten bei ungünstiger Witterung) zu bewegen.

Auch die extrem niedrigen Werte für Wintergetreide sind auffällig. Dies ist auf eine nicht ganz übliche Fruchtfolge im Prämiengebiet zurückzuführen: Auf ca. 80% der Getreideflächen im Prämiengebiet wurden im darauffolgenden Jahr Sommerungen (hauptsächlich Mais) angebaut und es ist davon auszugehen, dass im Prämiengebiet zwischen Getreide und Sommerung praktisch auf jeder Fläche eine Zwischenfrucht angebaut wird. In den weiteren untersuchten WSG steht das Getreide in längeren Fruchtfolgen, sehr oft mit Winterungen über vier oder noch mehr Jahre hinweg, wodurch sich die Möglichkeit für einen Zwischenfruchtanbau nach Getreide schmälert. Bei einer vergleichsweise kurzen dreigliedrigen Fruchtfolge mit zwei Getreidearten und einer Sommerung (z. B. Zuckerrüben, Winterweizen, Winterweizen) kann eine Zwischenfrucht höchstens zu 50% nach Getreide angebaut werden. Bei den restlichen 50%, bei denen nach der Ernte Wintergetreide angebaut wird, ist die N-Aufnahme im Herbst viel geringer, wodurch die Herbst-N_{min}-Werte für Getreideflächen in den restlichen WSG naturgemäß höher liegen.

Die Werte für Ackergras verhalten sich dagegen eher durchschnittlich im Prämiengebiet Emmerich-Helenenbusch, bei Grünland liegen sie sogar vergleichsweise hoch. Bei den für alle anderen Kulturen sehr guten Werten im Prämiengebiet ist es überraschend, dass genau bei diesen zwei Kulturen, in denen es vergleichsweise leicht ist niedrige Herbst-N_{min}-Werte zu erreichen, die Werte so hoch liegen (s. auch Diskussion nach Abbildung 54).

Abbildung 54 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit den Prämiengebietsflächen im WSG Emmerich-Helenenbusch, aufgeteilt nach der jeweiligen Kultur.[14]

Die Schätzung für die Wirkung der Maßnahme „Prämienförderung" im WSG Emmerich-Helenenbusch ergibt keine Wirkung für Ackergras und ist sogar negativ für die Grünlandflächen. Bei den im Vergleich hohen Herbst-N_{min}-Werten für Grünland würden geogene Einflüsse eine bedeutende Rolle spielen. Laut Berater würden viele der Grünlandflächen im Extensivierungsgebiet auf Flächen liegen, welche bei dem Ausbau der Autobahn A3 bis auf die Lehmschicht abgesandet wurden. Diese schweren Böden würden die für diese Kultur erhöhten Herbst-N_{min}-Werte bedingen. Dagegen liegt die geschätzte Wirkung für die Sommerungen Mais und Zuckerrüben bei sehr beträchtlichen 40 kg N-NO_3^-/ha. Noch eindrucksvoller sind die geschätzten Wirkungen für Wintergerste und Winterweizen, bei ca. 60 kg N-NO_3^-/ha.

[14] Um den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden fließen in diese Grafik die Daten der letzten 4 Jahre ein. Die verglichenen Werte sind aus methodischen Gründen nicht Mittelwerte sondern Mediane. Dadurch fallen die Werte der WSG etwas anders aus als in der Abbildung mit Durchschnittswerten in Abhängigkeit der Vorfrucht.

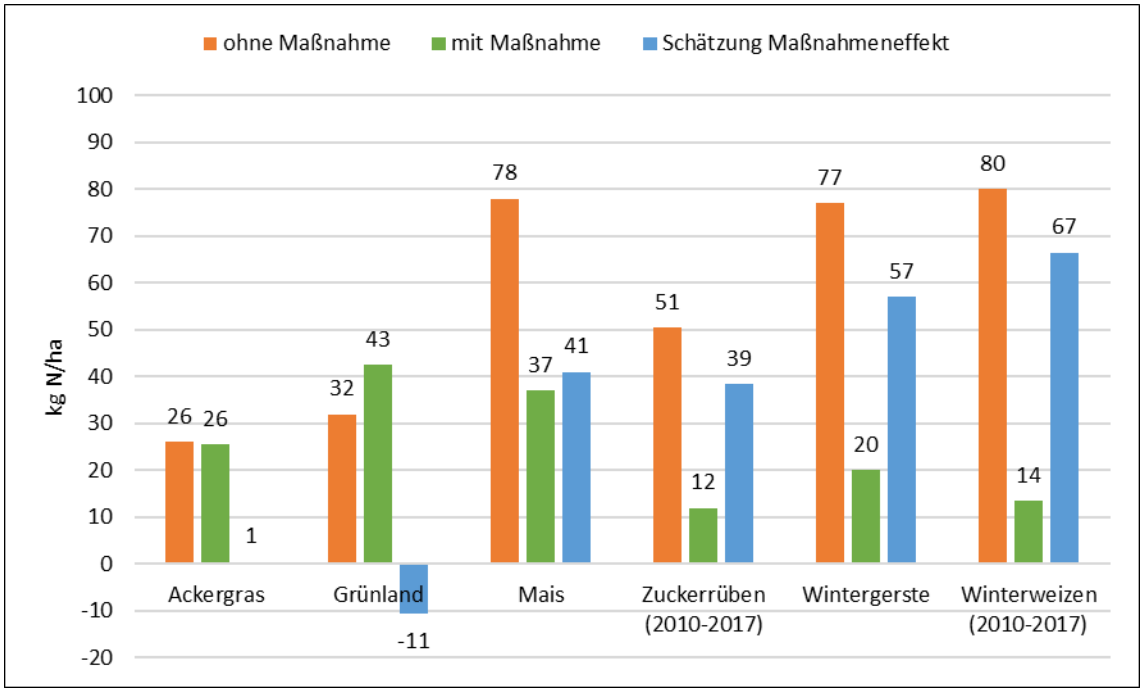


Abbildung 54: Schätzung der Maßnahmenwirkung „Prämienförderung“ im Prämiengebiet WSG Emmerich-Helenenbusch

7.1.1.4 Zusammenfassende Auswertung

Aufgrund der uns zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Daten lässt sich an dieser Stelle nur die Kooperationsarbeit im Prämiengebiet („Extensivierungsgebiet“) bewerten. Eine Abschätzung der Kooperationsarbeit im restlichen WSG kann nur mittels wasserwirtschaftlicher Daten erfolgen. Im Extensivierungsgebiet des WSGs Emmerich-Helenenbusch werden sehr gute (niedrige) Herbst-N_{min}-Werte erreicht. Der flächengewichtete Mittelwert liegt bei sechs von acht Jahren unter 40 kg $N\text{-}NO_3^-$/ha, was als ein großer und sehr deutlicher Kooperationserfolg zu bewerten ist, insbesondere, wenn man den relativ hohen Anteil an Problemkulturen von ca. 45% (davon fast alles Mais) betrachtet. Bei einer insgesamt intensiven Landwirtschaft in und um das WSG sind diese Durchschnittswerte für die N-Belastung beachtlich niedrig.

Die sehr guten Durchschnittswerte sind vor allem auf die im Extensivierungsgebiet sehr niedrigen Werte für Mais zurückzuführen, die einen Durchschnitt von 36 kg $N\text{-}NO_3^-$/ha erreichen. Es ist davon auszugehen, dass der wirtschaftliche Anreiz der beachtlichen Prämien und die langjährige Beratungsarbeit zu diesen sehr guten Werten für Maisflächen beitragen. Etwas höher dagegen liegen die Werte für die Kulturen Ackergras und Grünland. Der Durchschnittswert für Ackergrasflächen liegt mit 27 kg N/ha noch auf einem eher niedrigen Niveau, bei Grünland ist er mit 47 kg N/na allerdings relativ hoch. Hier spielen laut Berater geogene Einflüsse eine Rolle. Im Extensivierungsgebiet sind schwere Böden (lehmtoniger Lehm) für Grünlandflächen charakteristisch und verursachen die erhöhten Herbst-N_{min}-Werte für diese Kultur.

Die weiteren Kulturen haben zwar einen eher geringen Anteil an der Fläche, zeichnen sich aber durch sehr niedrige Werte aus. Die Schätzungen der Maßnahmenwirkung „Prämienförderung“ für diese Kulturen ergeben sehr deutliche Minderungen im Vergleich zu einer ordnungsgemäßen Landwirtschaft außerhalb von Wasserschutzgebieten. Im Prämiengebiet werden die Bodenproben für die Herbst-N_{min}-Untersuchungen laut Vertrag ab dem 10. November genommen. Dieser Starttermin scheint im Vergleich mit anderen Ansätzen etwas spät zu sein,[15] auch angesichts der vergleichsweisen leichten Böden. Die Möglichkeit einer früheren Probenahme sollte überprüft werden.

[15] Vergleich dazu die Probenahme in Baden-Württemberg, vom 15. Oktober bis zum 15. November.

7.1.2 Mussum

7.1.2.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Mussum liegt südwestlich angrenzend an Bocholt, im Kreis Borken. Es liegt rechtsrheinisch, wenige Kilometer vom Rhein und der niederländischen Grenze entfernt und umfasst eine Fläche von 4,02 km². Die Grenze zwischen den Landkreisen Wesel und Borken verläuft durch das WSG, mit 2,97 km² (74%) der Fläche im Kreis Borken (Regierungsbezirk Münster) und 1,05 km² (26%) im Kreis Wesel (Regierungsbezirk Düsseldorf). Es wird von Nord nach Süd von der Dingdener Straße durchquert, in deren Nähe einige Wohn- und Firmengebäude (u. a. eine Deponie im Osten des WSGs) liegen. Neben noch ein paar kleineren Forstbereichen ist das Gebiet darüber hinaus vorwiegend landwirtschaftlich geprägt, mit etwa 60% seiner Fläche landwirtschaftliche Nutzfläche.

Die Kooperationsarbeit im WSG begann im Jahr 1992. In den ersten Jahren der Kooperation wurde ein Ausgleich für die Einhaltung von gewässerschonenden Auflagen gezahlt sowie für einige weitere Maßnahmen, wie der Erweiterung von Lagerkapazitäten und dem Anbau von Zwischenfrüchten. Seit 2011 gibt es im Kreis Borken eine kreisweite Kooperation, die einem neuem Vorgehen nachgeht: Dabei werden die einzelnen Wasserschutzgebiete in ein Intensivberatungsgebiet (Prämienmodell) und ein Basisberatungsgebiet (Beratung) aufgeteilt. In der Wasserkooperation Mussum-Liedern-Schüttensteiner Wald findet in den Basisberatungsgebieten zusätzlich zur Beratung eine Förderung des Zwischenfruchtanbaus statt.

Für das WSG Mussum wurde das Prämienmodell fast in der gesamten WSZ IIIa implementiert. Wenige Flächen im Osten der WSZ IIIa (mit weniger sandigen Böden) und die gesamte WSZ IIIb sind nicht Teil der Intensivberatung. Die Karte im Anhang 10.2.2 zeigt das Wasserschutzgebiet, mitsamt Produktionsbrunnen und der Aufteilung nach Intensivberatungsgebiet und Basisberatungsgebiet.

Im Rahmen dieser Studie wurden dem Gutachter Daten für 45 Schläge innerhalb der Zustromgebiete einzelner Messstellen zur Verfügung gestellt. In Abbildung 55 wird die Fruchtartenverteilung für diese Schläge abgebildet.

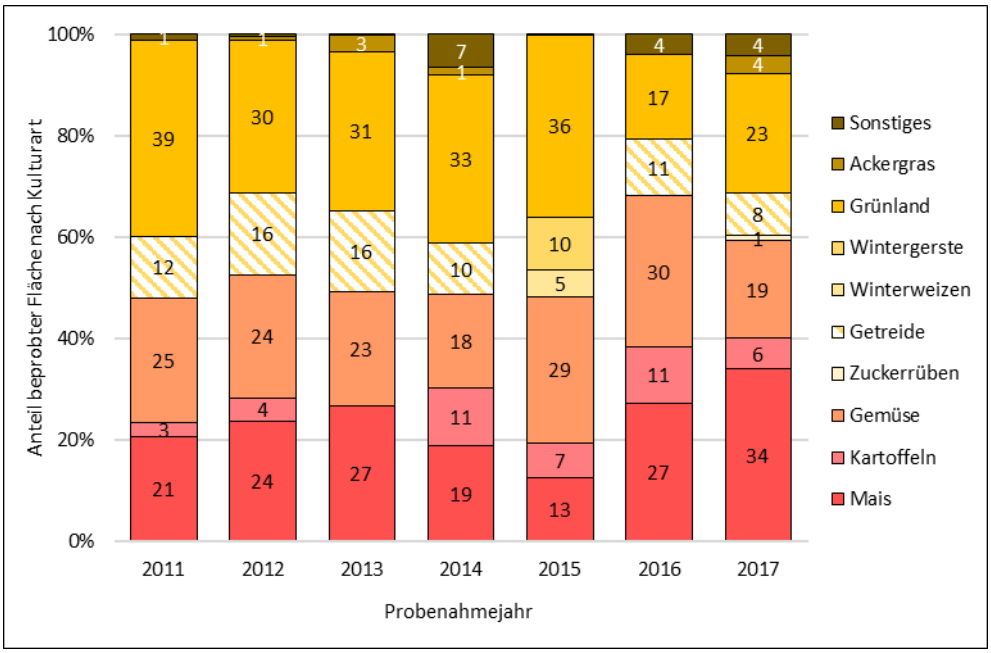


Abbildung 55: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf 44 beprobten Standorten – Prämiengebiet Mussum

Die Flächen, die innerhalb des Prämiengebietes („Intensivberatungsgebiet“) liegen, sind für den Zeitraum 2011 bis 2017 dargestellt. In roten Farben werden potenzielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr abgebildet: Mais, Kartoffeln und Gemüse. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Ackergras, Grünland, Wintergerste, Winterweizen (in den meisten Jahren wurden

diese beiden Kulturen als Getreide zusammengefasst) und Zuckerrüben. Alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst.

Pro Jahr enthielt der übermittelte Datensatz Ergebnisse für 28 bis zu 35 der 45 Schläge. Die hohen Schwankungen im Anteil beprobter Flächen nach Kulturart sind zumindest teilweise auf die jährlich variierenden Untermengen der Schläge zurückzuführen. Der aus der Fruchtfolge resultierende Kulturwechsel auf einzelnen Flächen kann sich relativ stark auf den dargestellten Kulturenmix auswirken. Die Veränderung der angebauten Kulturen lässt sich anhand der hier vorliegenden Daten nicht auswerten. Dennoch zeigen die Daten einen grundsätzlich sehr hohen Anteil an Problemkulturen mit einem Durchschnittswert von 54%, welcher sich vorwiegend aus Gemüse und Mais zusammensetzt. Auf der anderen Seite sind mit 30% im Schnitt über alle Jahre auch hohe Grünlandanteile gegeben, eine Kultur mit vergleichsweise geringer N-Auswaschung. Kartoffeln (6%) und Getreide (13%) wurden auf der beprobten Fläche in einem vergleichsweise geringen Maß angebaut. Weitere Kulturen wurden kaum angepflanzt. Auffällig ist ein hoher Anteil an Sommerungen, der einen Anbau von Zwischenfrüchten im Regelfall möglich machen sollte.

Die Intensität der Landwirtschaft um das WSG Mussum herum kann als insgesamt hoch eingestuft werden. Die Viehbesatzzahlen in den Gemeinden Hamminkeln und Bocholt liegen hoch (1,9 bzw. 2,4 GVE/ha), der Gülleimport in den Landkreisen Borken und Wesel (das WSG liegt genau auf der Landkreisgrenze) ist dagegen mit 7,0 bzw. 1,5 kg N/ha eher gering. Die landwirtschaftliche Intensität in der Region schlägt sich auch in den im Rahmen des GROWA+ NRW2021 Projekt modellierten N-Bilanzüberschüssen nieder: Die Bilanzüberschüsse für die Gemeinde Bocholt gehören zur fünften und somit höchsten Klasse (Kategorie „größer als 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“) und die der Gemeinde Hamminkeln zur dritten Klasse (Kategorie „40 bis 50 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“).

7.1.2.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Wie bereits beschrieben finden in Mussum zwei Formen der Kooperationsarbeit statt. Neben einem Basisberatungsgebiet gibt es ein Gebiet mit Prämienmodell („Intensivberatungsgebiet“, Auswahl der Flächen mit Fokus auf sandigere Böden), in dem Ausgleichszahlungen in Abhängigkeit der erreichten Herbst-N_{min}-Werte ausgezahlt werden. In beiden Gebieten findet eine Wasserschutzberatung der Landwirte statt.

Alle Kooperationslandwirte erhalten für die Einhaltung eines gewissen Kriterienkatalogs einen festen Betrag, der einer Art Basisausgleichszahlung entspricht. Diese Kriterien zielen vorwiegend darauf ab, die Praxis bei der Düngung zu verbessern (u. a. zählen darunter Düngeplanung, N-Bedarfsermittlung, schlagbezogene N-Bilanzierung, ausreichende Lagerkapazität).

Fördermodalität im Prämiengebiet

Im Prämiengebiet müssen gewisse Auflagen eingehalten werden (u. a. Düngeplanung, N-Bedarfsermittlung, schlagbezogene N-Bilanzierung, ausreichende Lagerkapazität). Zwischen 2011 und 2013 wurde bei einem Wert von unter 45 kg N/ha (flächengewichteter Mittelwert) über alle im Prämiengebiet liegenden landwirtschaftlichen Flächen eines Betriebes eine Prämie von 150 € je Hektar ausgezahlt. Für Sonderkulturen wurde der Wert etwas höher angesetzt, ebenso bei Kartoffeln, die jedoch einen eigenen Grenzwert haben. Wenn ein Betrieb im Durchschnitt auf allen seinen im Prämiengebiet liegenden Flächen Werte zwischen 46 und 50 kg N/ha erreichte wurde die halbe Prämie ausgezahlt. Bei Betriebsdurchschnittswerten von 50 kg N/ha und höher wurden keine Prämien ausgezahlt. Im Jahr 2014 wurde der Wert von 45 auf 40 kg N/ha gesenkt. Der ursprüngliche Plan, alle 3 Jahre den Wert um 5 kg N/ha zu senken, wird derzeitig ausgesetzt.

Im Prämiengebiet sind die Beratungen, insbesondere zu einer optimierten Wirtschaftsdüngerverwertung, besonders intensiv. Mit allen Landwirten werden daher diesbezüglich Gespräche geführt.

Fördermodalität im restlichen Wasserschutzgebiet

Im restlichen WSG (Basisberatungsgebiet) wird der winterharte Zwischenfruchtanbau (ohne Düngung und mit verlängerten Standzeiten im Frühjahr) gefördert. Die Förderung beträgt:

- für Flächen, die nicht als ökologische Vorrangfläche oder als Agrarumweltmaßnahme gefördert werden: 97 €/ha

- für Flächen, die gleichzeitig als ökologische Vorrangfläche oder als Agrarumweltmaßnahme gefördert werden: 22 €/ha

Der Beirat der Kooperation behält sich vor, in den Basisberatungsgebieten und in Intensivberatungsgebieten, besondere gewässerschonende Maßnahmen in Form einer Projektförderung umzusetzen.

Die Kooperationsarbeit im WSG Mussum hat somit Ähnlichkeiten mit den Maßnahmen in den WSG Emmerich-Helenenbusch, Flüren-Diersfordt-Blumenkamp und Hartefeld. Wie auch in diesen Gebieten gibt es in Mussum einerseits ein Prämiengebiet, in dem sich die Ausgleichszahlungen nach erreichten Herbst-N_{min}-Werten orientieren, und ein restliches Wasserschutzgebiet, in dem die Förderung von Flächenmaßnahmen in einem relativ eingeschränkten Umfang geschieht (in Mussum nur Zwischenfruchtförderung). Außerdem wird im restlichen WSG der Schwerpunkt der Kooperationsarbeit auf die Beratung gesetzt.

Die Kooperationsarbeit in Mussum unterscheidet sich jedoch in einem entscheidenden und hoch interessanten Aspekt: In diesem WSG werden die Prämien nicht bei Unterschreitung von Herbst-N_{min}-Grenzwerten auf einzelnen Flächen ausgezahlt, sondern nur wenn der Betrieb im Gesamtdurchschnitt unter dem vorgegebenen Grenzwert liegt. Es werden demnach alle Herbst-N_{min}-Werte eines Betriebes gemittelt. Der Landwirt ist somit angehalten, einen guten Durchschnittswert über alle Flächen zu erwirtschaften, da er nur so eine Prämie erhält. Damit wird einer potenziellen Umschichtung von überschüssigem Wirtschaftsdünger auf andere Flächen innerhalb des WSG vorgebeugt.

Während im WSG Hartefeld sowohl im Prämien- als auch im Beratungsgebiet Herbst-N_{min}-Proben genommen werden, dort also ein Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte in beiden Gebieten möglich ist, liegen dem Gutachter fürs WSG Mussum lediglich Herbst-N_{min}-Werte für 44 Flächen im Prämiengebiet vor. Mithilfe der landwirtschaftlichen Daten ist daher nur eine Einschätzung der Kooperationserfolge im Prämiengebiet möglich; die Erfolge der Kooperationsarbeit (im wesentlichen Beratungsarbeit) im restlichen WSG kann anhand der uns zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Daten nicht bewertet werden.

7.1.2.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im Prämiengebiet

In Abbildung 56 werden die jährlichen Durchschnittswerte (flächengewichtet) der Herbst-N_{min}-Messungen von 44 Flächen im Prämiengebiet für den Zeitraum 2011 – 2017 dargestellt.

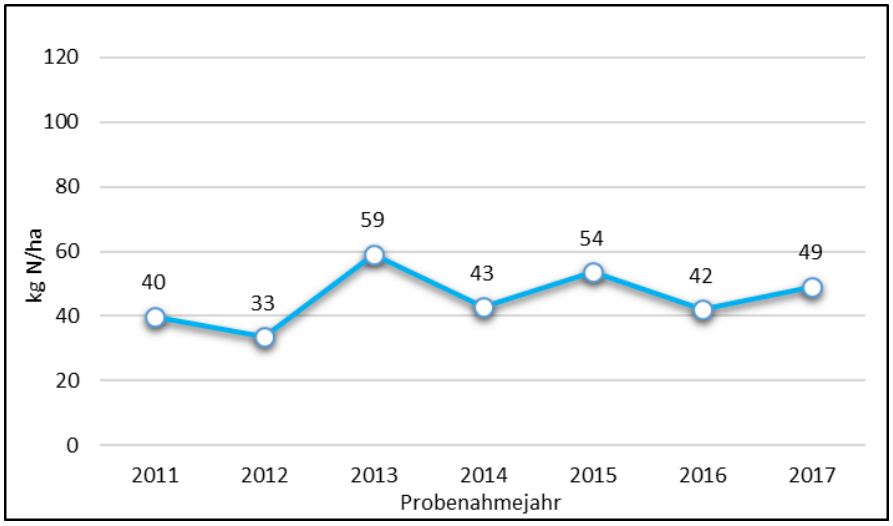


Abbildung 56: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für WSG Mussum

Die Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte variieren im WSG Mussum zwischen 33 und 59 kg N/ha und liegen im Schnitt über alle Jahre bei 46 kg N/ha. Die Schwankungen lassen sich zumindest teilweise auf die im Datensatz für ein gegebenes Jahr unterschiedlichen Teilmengen der 45 Schläge und generell auf die geringe Flächenanzahl zurückführen.

In Abbildung 57 werden die Durchschnittswerte pro Kultur für den Zeitraum 2014 – 2017 dargestellt.

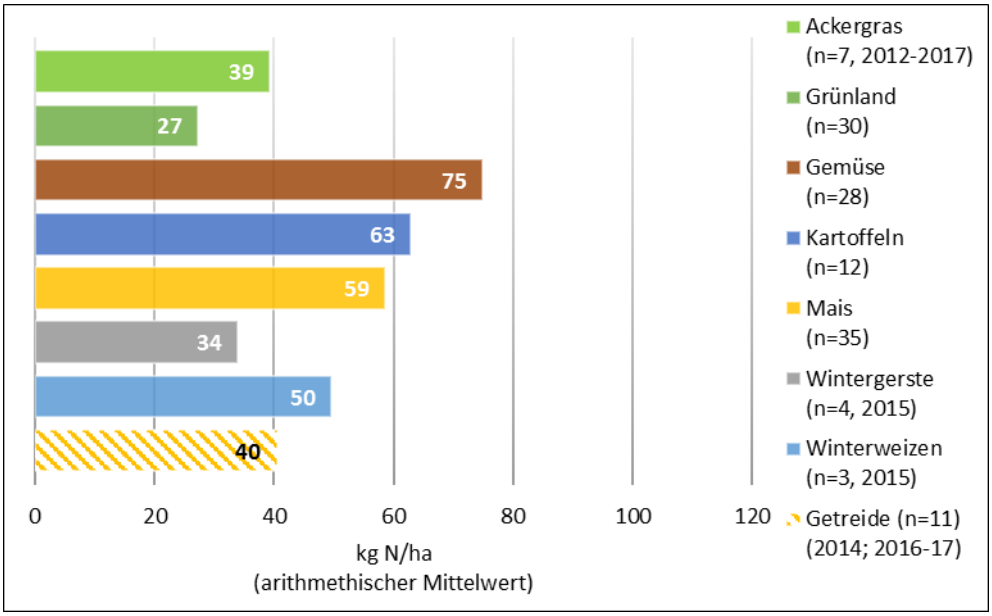


Abbildung 57: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Mussum

Die Werte sind bei allen Kulturen relativ niedrig, mit Ausnahme von Ackergras (allerdings mit einer sehr geringen n-Zahl). Auch die üblicherweise als „Problemkulturen" bezeichneten Kulturen Gemüse, Kartoffeln und Mais zeigen für diese Kulturen niedrige Durchschnittswerte zwischen 59 und 75 kg N/ha auf. Dennoch heben Mais und Gemüse aufgrund ihrer Werte und ihres vergleichsweise sehr hohen Anbauanteils die durchschnittlichen Herbst-N_{min}-Werte. Grünland erreicht mit einem Durchschnitt von 27 kg N/ha einen sehr guten Wert, die Grünlandflächen können mit ihrem Anteil von ca. 30% aber nur bedingt den hebenden Einfluss von Mais und Gemüse kompensieren. Auch Getreide erreicht im Gebiet niedrige Werte mit einem Durchschnitt von ca. 40 kg N/ha. Es ist davon auszugehen, dass dieser Wert mit den im WSG üblichen Fruchtfolgen zusammenhängt: Auf vielen Flächen im Datensatz wird Mais und Getreide abwechselnd angebaut, wodurch nach der Getreideernte die Möglichkeit von einem Zwischenfruchtanbau besteht, der den mineralisierten Stickstoffgehalt im Boden senkt.

Abbildung 58 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit denen von Prämienflächen im WSG Mussum nach Hauptfrucht des Probenahmejahres.[16]

[16] Um den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden fließen die Daten der letzten 4 Jahre in diese Grafik ein. Die verglichenen Werte sind aus methodischen Gründen keine Mittelwerte, sondern Mediane und fallen dadurch niedriger aus als in der Abbildung mit den Herbst-Nmin-Durchschnittswerten nach Kultur. Die Herkunft und Ableitung der Kontrastwerte wird in Kapitel 6.1 zusammengefasst.

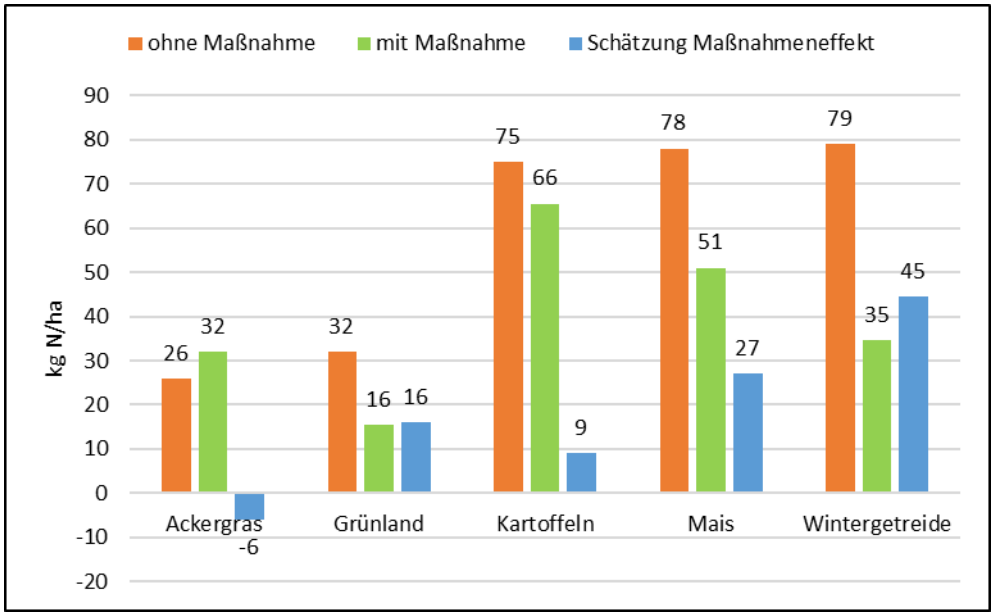


Abbildung 58: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienmodell“ im Prämiengebiet WSG Mussum

Aus der Grafik ist zu entnehmen, dass die geschätzte Maßnahmenwirkung für die Maßnahme „Prämienförderung“ im WSG Mussum für Wintergetreide mit 45 kg N/ha sehr positiv ausfällt. Auch für Mais ergibt die Schätzung mit fast 30 kg N/ha eine deutliche Wirkung. Für Grünland ergibt die Schätzung eine beträchtliche Wirkung von 16 kg N/ha. Für Kartoffeln liegt die geschätzte Wirkung bei immerhin 9 kg N/ha, für Ackergras dagegen lässt sich keine positive Wirkung erkennen (allerdings bei geringer n-Zahl). Für Gemüsekulturen, mit die wichtigsten in Hinsicht auf Flächenanteil im Datensatz, lassen sich keine Wirkungen aufgrund fehlender Kontrastwerte für einzelne Gemüsesorten schätzen. Der Durchschnittswert in Abbildung 57 für alle Gemüsekulturen ist allerdings der geringste ermittelte Durchschnittswert dieser Studie für diese Kulturengruppe, weshalb auch für Gemüse von einer deutlichen Wirkung der Prämienförderung ausgegangen werden kann.

7.1.2.4 Zusammenfassende Auswertung

Auf Basis der uns zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Daten, lässt sich an dieser Stelle nur die Kooperationsarbeit von 44 Flächen im Prämiengebiet bewerten. Die Bewertung ist also als indikativ für die Kooperationsarbeit im Prämiengebiet zu deuten.

Auf den untersuchten Flächen des Prämiengebietes des WSGs Mussum werden insgesamt niedrige Herbst-N_{min}-Werte bei den einzelnen Kulturen erreicht. Der flächengewichtete Mittelwert aller Flächen über die Jahre liegt bei 46 kg N/ha, ein eher mittlerer Wert, der von einem hohen Anteil an den „Problemkulturen“ Mais und Gemüse geprägt ist. Die guten Werte für Grünland und Getreide können diese hohen Anteile an Problemkulturen nur bedingt kompensieren. Vor dem Hintergrund der intensiven Landwirtschaft in der Region und der sehr hohen modellierten N-Bilanzüberschüsse für die Gemeinde Bocholt sind die moderaten Durchschnittswerte allerdings als ein eindeutiger Erfolg der Kooperationsarbeit zu werten.

Eine Besonderheit bei der Kooperationsarbeit im Prämiengebiet ist, dass der Gesamtdurchschnitt aller Flächen eines Betriebes als Grenzwert für die Auszahlung von Prämien herangezogen wird. Diese Praxis scheint sich in den moderaten Werten über alle Kulturen, auch in den der Problemkulturen, widerzuspiegeln. Besonders in den Gebieten, wo von hohen Viehbesatzzahlen ausgegangen wird, ist eine gute Verteilung von Wirtschaftsdünger unter den Flächen sehr wichtig.

7.1.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp

7.1.3.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Flüren-Diersfordt (auch Flüren-Diersfordt-Blumenkamp genannt) liegt direkt nördlich der Hansestadt Wesel im Kreis Wesel, Regierungsbezirk Düsseldorf, rechtsrheinisch und wenige Kilometer vom Rhein entfernt. Innerhalb des 29,9 km² großen Wasserschutzgebiets werden derzeit 1354,6 ha von Kooperationslandwirten bewirtschaftet.

Die Kooperation im WSG begann im Jahr 1993 und umfasste zunächst die Förderung einzelner gewässerschonender Maßnahmen (z. B. Zwischenfruchtanbau, Grünlandextensivierung). Vor ca. 15 Jahren nahmen 7 Landwirte mit ca. 50 ha Fläche im Bereich der Straße „Am Heuweg“ an dem „Heuweg-Projekt“ teil. Im Jahr 2013 wurde die Kooperationsarbeit maßgeblich verändert. Für die landwirtschaftlichen Flächen in den Schutzzonen II, IIIa und für die Flächen des „Heuweg-Projekts“, welche sich in der Schutzzone IIIb westlich der B473 befinden, wurde ein Prämienmodell mit der Bezeichnung „Kooperationsmaßnahmen zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung“ (kurz KzgL) eingeführt.

Im ersten Jahr (2013) umfasste dieses Prämiengebiet 425 ha. Im Jahr 2018 betrug die Fläche bereits 546 ha. Die Karte im Anhang 10.2.3 zeigt das Prämiengebiet im Kontext des gesamten Wasserschutzgebiets. In dem übrigen Bereich der Schutzzone IIIb findet schwerpunktmäßig die Beratung mit weiteren, diese Beratung unterstützenden Maßnahmen statt (vgl. Kapitel 7.1.3.2). Außerdem wird hier der Zwischenfruchtanbau gefördert.

In Abbildung 59 wird die Fruchtartenverteilung für das Prämiengebiet („KzgL-Gebiet“) im Zeitraum 2013-18 dargestellt. Potenzielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr (z. B. Mais und Gemüse) werden in roten Farbtönen dargestellt. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen. Alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst.

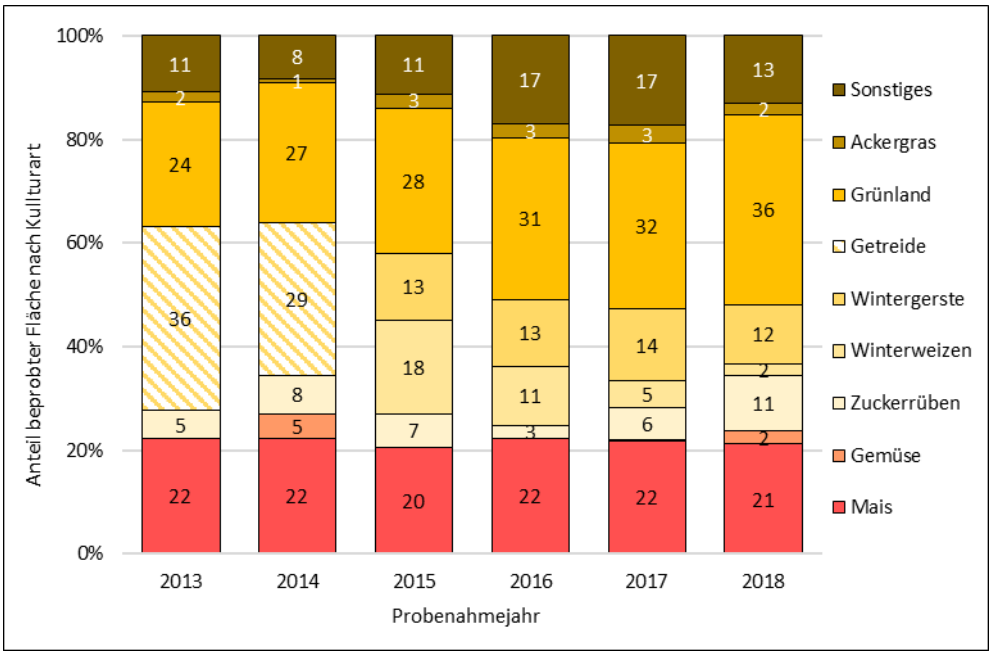


Abbildung 59: Prozentuale Verteilung der Fruchtarten auf beprobten Standorten – Prämiengebiet Flüren-Diersfordt

Aufgrund der zu der Zeit noch gültigen InVeKoS-Systematik wurden in den Jahren 2013 und 2014 die Wintergetreidearten in der Kategorie „Getreide“ zusammengefasst. Seit dem Jahr 2015 werden die Getreidearten unterschieden. Vom Jahr 2015 zu 2018 hat sich der Flächenanteil von Wintergerste und Winterweizen von insgesamt 31% auf 14% verkleinert. In etwa die Hälfte dieser kleiner werdenden Fläche wurde vom vermehrten Anbau von Wintertriticale, Winterdinkel und Winterroggen (unter „Sonstiges“ aufgeführt) ersetzt. Im Jahr 2018 standen diese Getreidesorten auf knapp 9% der KzgL-Flächen. Außerdem haben im gleichen Zeitraum Grünlandflächen im KzgL-Gebiet einen Anstieg zu

verzeichnen. Allerdings muss es sich hierbei nicht um eine „Verschiebungen“ zwischen den Kulturen handeln. Es könnte ebenfalls mit der oben umrissenen Flächenerweiterung des KzgL-Gebiets zusammenhängen.

Werden die angebauten Kulturen betrachtet, so lassen sich aus der Abbildung 59 günstige Bedingungen für den Gewässerschutz ableiten. Der Problemkulturanteil liegt stabil über die Zeit auf einem relativ niedrigen Niveau. Er nimmt dabei einen Anteil zwischen 20 und 25% der landwirtschaftlichen Fläche ein. Dazu kommt ein hoher Ackergras- und Grünlandanteil im Gebiet, der von 26% im Jahr 2013 auf 38% im Jahr 2018 deutlich ansteigt.

Die Intensität der Landwirtschaft um das WSG Flüren-Diersfordt herum, kann als moderat eingestuft werden. Der Viehbesatz für die Gemeinden Hamminkeln und Wesel liegt bei 1,9 bzw. 1,2 GVE/ha nach Angaben der Landwirtschaftszählung 2010. Die modellierten N-Bilanzüberschüssen, die für diese Gemeinden im Projekt GROWA+ NRW2021 berechnet wurden, liegen in der mittleren Klasse („40 bis unter 50 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017) und damit im Vergleich mit den weiteren WSG dieser Studie, auf einem eher geringen Niveau (vgl. Tabelle 15).

7.1.3.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Es gibt zwei Formen der Kooperationsarbeit im WSG: einerseits ein Gebiet mit Prämienmodell, in dem Ausgleichszahlungen nach dem erreichten Herbst-N_{min}-Wert ausgezahlt werden. Andererseits wird auf dem verbleibenden Gebiet die Kooperationsarbeit anhand von Beratungsarbeit und der Förderung einzelner Maßnahmen durchgeführt. Diese Formen der Kooperationsarbeit werden im Folgenden erläutert.

Fördermodalität im Prämiengebiet

In den KzgL-Flächen werden Ausgleichszahlungen gezahlt, die sich nach den erreichten Herbst-N_{min}-Werten richten. Bei der Prämienauszahlung wird nicht zwischen Ackerbau- und Grünlandflächen unterschieden, sie werden also in gleicher Höhe für beide Flächenarten ausgezahlt. Bei den Auflagen gelten einige wenige gesonderte Regelungen für Acker- bzw. Grünlandflächen.

Die Höchstprämie von derzeitig 300 €/ha wird für Flächen mit einem Herbst-N_{min}-Wert unter 35 kg/ha ausgezahlt. Bei Flächen mit Werten zwischen 35 und 50 kg N/ha wird die Hälfte davon ausgezahlt (150 €/ha); noch einmal halbiert (auf 75 €/ha) wird der Betrag für Flächen mit einem Wert zwischen 50 und 75 kg N/ha.

Es gelten dazu Auflagen für die Flächen im KzgL, insbesondere:

1. Bei Zwischenfrüchten sollen winterharte Arten bestellt und nicht vor dem 01.03. umgebrochen werden (Ausnahmen beim Anbau von Frühkulturen und in Absprache mit dem Berater möglich, aber auch hier ist ein Umbruch vor dem 15.02. nicht möglich).
2. Bei Eingriffen in die Grünlandnarbe ist der Berater zu kontaktieren; seine Empfehlung ist verbindlich.
3. Sonderregelungen zur Düngung.
4. Auflagen zur Dokumentation (schlagbezogen für alle Düngungs- und PSM-Maßnahmen; Nährstoffvergleich mit N-Überhangbewertung ist bei Bedarf vorzulegen).

Darüber hinaus werden im KzgL-Gebiet Referenzflächen in Absprache zwischen Landwirten und Berater festgelegt und monatlich auf N_{min} beprobt. Im Jahr 2017 zum Beispiel wurden im KzgL-Gebiet 9 Ackerbauflächen mit 6 unterschiedlichen Hauptfruchtarten monatlich beprobt.

Wohl im Sinne eines reibungslosen Übergangs zwischen dem vorherigen Fördermodell und dem Prämienmodell KzgL, wird im Förderkatalog ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bestehende Verträge zwischen dem Wasserversorger und den Kooperationslandwirten beibehalten werden können.

Fördermodalität im restlichen Wasserschutzgebiet

Seit der Einführung des Prämienmodells im Jahr 2013 wird in dem Großteil der Schutzzone IIIb der Zwischenfruchtanbau mit 60 €/ha gefördert, sofern der Umbruch erst nach dem 15.02. eines jeden

Jahres stattfindet. Mulchsaatflächen sind zudem mit 100 €/ha förderfähig. Der Umfang dieser einzelnen Flächenmaßnahme ist bei ca. 110 ha/Jahr (davon ca. 15 ha/Jahr in Mulchsaat) eher überschaubar.[17] Die Kooperationsarbeit im restlichen WSG liegt im Wesentlichen in der Beratungstätigkeit.

Des Weiteren wird mit der „Förderung der Ausbringungsstrategie betriebseigener Wirtschaftsdünger" eine düngungsrelevante Maßnahme auf Betriebsebene gefördert. Dabei werden Neubau, Erweiterung oder die Pachtung von zusätzlicher Lagerkapazität, die mindestens 2 Monate über die gesetzlich vorgeschriebenen Regelungen hinausgeht, finanziell unterstützt. Darüber hinaus werden düngungsrelevante Maßnahmen zum Zweck einer tiefergehenden Düngeberatung gefördert (s. unten „Beratung").

Beratung

Die Beratungsarbeit stellt den Schwerpunkt der Kooperationsarbeit im Gebiet außerhalb des Prämienmodells dar. Dazu gehören weitere förderfähige Maßnahmen, die diese Beratung ermöglichen bzw. verbessern, wie die Berechnung von Nährstoffvergleichen nach DüV, die Beratung zur Nährstoffplanung, N_{min}-Beprobungen im Frühjahr und im Herbst, die N-Untersuchung organischer Dünger und die Förderung von Ackerschlagkarteien.

Das Angebot zur Erstellung des Nährstoffvergleichs durch den Wasserschutzberater wurde von ca. der Hälfte der insgesamt 66 Kooperationslandwirte im Prämiengebiet und im restlichen WSG wahrgenommen (Stand Februar 2019). Diese Landwirte bewirtschaften insgesamt ca. 60 % der landwirtschaftlichen Fläche im WSG. Die Nährstoffvergleiche der übrigen Landwirte wurden durch Lohnunternehmen, Genossenschaften oder vom Nachbarn im Austausch für die Gülleaufnahme erstellt. Für den Wasserschutzberater sind die Nährstoffvergleiche nützlich, da diese wichtige Informationen für die Beratung liefern können. Bei der Erstellung des Nährstoffvergleichs kommen Landwirt und Berater ins Gespräch und erkennen Angriffspunkte, um die Düngung des Landwirts aus Gewässerschutzperspektive zu optimieren.

Die Kooperationsarbeit im WSG Flüren-Diersfordt ähnelt somit der Kooperationsarbeit in den WSG Emmerich-Helenenbusch und Hartefeld. Wie in Emmerich-Helenenbusch gibt es in Flüren-Diersfordt einerseits ein Prämiengebiet (KzgL-Gebiet, Förderung nach dem Prämienmodell), in dem sich die Ausgleichszahlungen nach den erreichten Herbst-N_{min}-Werten richten, und ein restliches Wasserschutzgebiet, in dem die Förderung von Flächenmaßnahmen in einem bedeutend geringeren Umfang geschieht und der Schwerpunkt der Kooperationsarbeit auf Beratungsleistungen liegt. Während im WSG Hartefeld sowohl im Prämien- als auch im Beratungsgebiet Herbst-N_{min}-Proben gezogen werden, dort also ein Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte in beiden Gebieten möglich ist, liegen im WSG Flüren-Diersfordt lediglich Herbst-N_{min}-Werte für das Prämiengebiet vor.

Mithilfe der landwirtschaftlichen Daten ist somit lediglich eine Ergebnisauswertung der Kooperationsarbeit im Prämiengebiet (KzgL-Gebiet) möglich; die Erfolge der Kooperationsarbeit (im Wesentlichen Beratungsarbeit) im restlichen WSG können mittels der uns zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Daten nicht bewertet werden.

7.1.3.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im Prämiengebiet

In Abbildung 60 werden die jährlichen Durchschnittswerte (flächengewichtet) der Herbst-N_{min}-Messungen im Prämiengebiet (KzgL) für den Zeitraum 2013 – 2017 dargestellt.

[17] Die begrenzte Akzeptanz der Mulchsaat hängt laut Berater mit den progressiv sandiger werdenden Böden in der Zone IIIb zusammen, auf denen eine Mulchsaat schlechtere Ergebnisse erzielt.

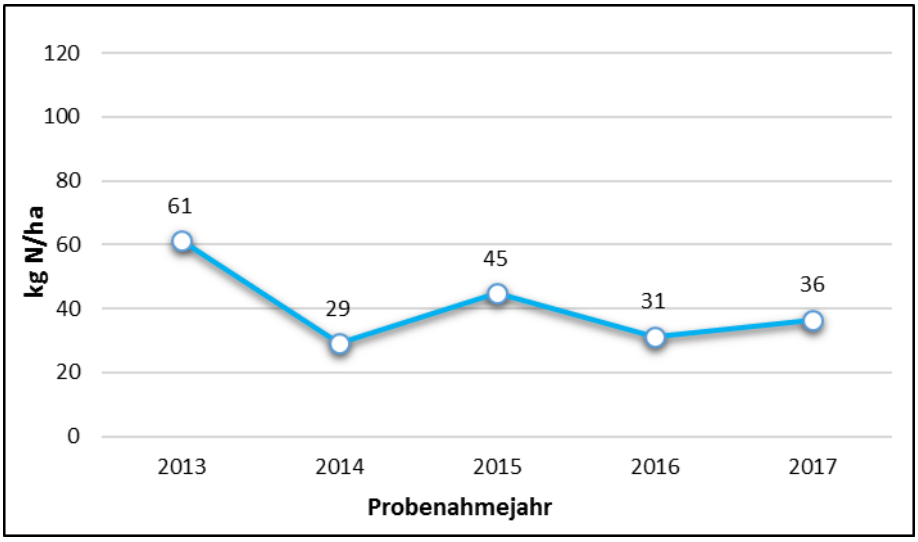


Abbildung 60: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für WSG Flüren-Diersfordt

Bei Beginn des Prämienmodells im Jahr 2013 wurde noch ein Durchschnittswert von knapp über 60 kg N/ha erreicht, in den Folgejahren pendeln sich die Werte um die 35 kg N/ha ein. Nur eins der vier Folgejahre weist einen Durchschnittswert von über 40 kg N/ha auf. Damit liegen die Werte im KzgL-Gebiet sehr niedrig im Vergleich zu anderen Kooperationen in NRW. Es ist ggf. ein leicht sinkender Trend erkennbar, der jedoch durch die Erhebung weiterer Daten verifiziert werden muss.

In Abbildung 61 werden die Durchschnittswerte pro Kultur für den Zeitraum 2014 – 2017 dargestellt. (Aufgrund der genannten fehlenden Differenzierung zwischen Getreidearten bis einschließlich zum Jahr 2014 stellen die Werte für Wintergerste und Winterweizen Durchschnittswerte für den Zeitraum 2015 – 2017 dar.)

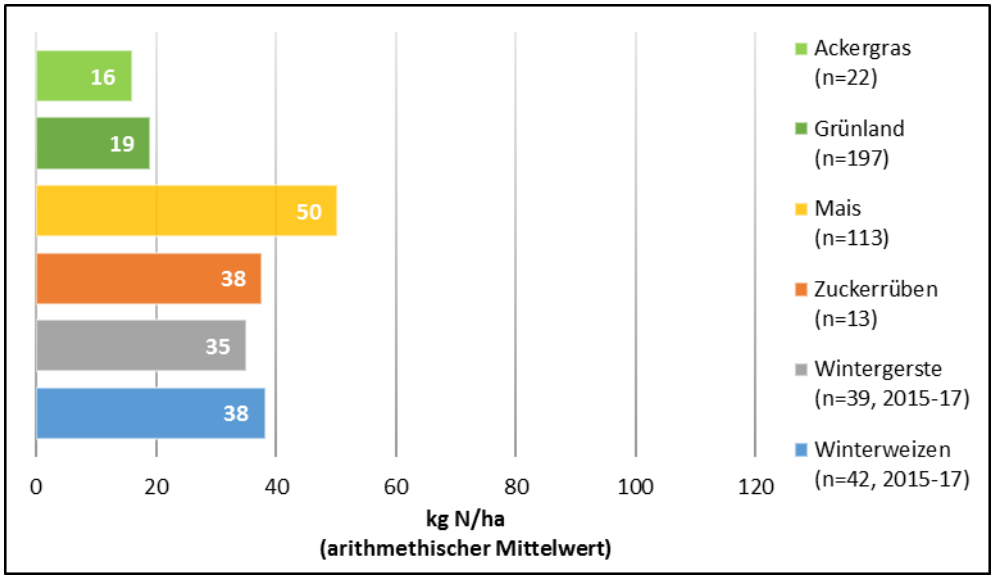


Abbildung 61: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Flüren-Diersfordt

Die Grafik verdeutlicht die sehr guten Werte für die Ackergras- und Grünlandflächen im Prämiengebiet. Auch wenn diese Kulturen i.d.R. geringere Herbst-N_{min}-Werte aufweisen als die restlichen Kulturen, sind die vorliegenden Durchschnittswerte von 15 bis 20 kg N/ha sehr gering.

Für Maisflächen (die sich im Prämiengebiet ausschließlich aus Silomais zusammensetzen) liegt der Durchschnittswert bei 50 kg N/ha und ist folglich ein vergleichsweise niedriger Wert für diese Kultur. Für die Flächen im Prämiengebiet, auf denen Mais im untersuchten Zeitraum angebaut wurde, variiert

der Maisanteil in der Fruchtfolge stark: Es gibt sie mit einem Maisanteil von 33%, von 50%, von 66% und mit über 80% im untersuchten Zeitraum. Es sind allerdings keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Herbst-N_{min}-Werten für Flächen mit unterschiedlichen Maisanteilen bzw. Vorfrüchten zu beobachten. Beispielsweise liegen die Durchschnittswerte von Flächen mit Folgemais und die von Flächen mit Wintergetreide auf Silomais bei 50 kg bzw. 46 kg N/ha, ohne signifikanten Unterschied durch die geringen n-Zahlen der beiden Gruppen. Bei Zuckerrüben ist der Durchschnittswert von 38 kg N/ha auch ziemlich niedrig, allerdings spielt diese Kultur keine allzu große Rolle im Gebiet, wie man an der n-Zahl in Abbildung 61 bzw. in Abbildung 59 erkennen kann.

Der Durchschnittswert für Winterweizen und Wintergerste liegt bei 38 bzw. 35 kg N/ha und weisen somit im Vergleich niedrige Werte für diese Kulturen auf (s. auch Abbildung 63 mit der Schätzung der Maßnahmenwirkung für beide Kulturen aufgrund der Mediane). Für die zwei Getreidearten ist ein deutlicher Unterschied bei Art der Folgekultur (Sommerungen vs. Winterungen) festzustellen. Für Weizen liegen die Werte bei nachfolgender Winterung (i.d.R. Wintergerste) durchschnittlich bei 59 kg N/ha (n=18); folgt auf den Weizen eine Sommerung (Mais, Kartoffel, Gemüse im KzgL-Gebiet) liegt der Durchschnittswert dagegen bei 19 kg N/ha (n=22). Ähnlich verhält es sich mit den Gerstenflächen: Bei nachfolgender Winterkultur (aufgrund der Stellung der Gerste in der Fruchtfolge nur Winterraps) liegt der Durchschnittswert bei 80 kg N/ha (n=9), bei nachfolgender Sommerung (Mais, Zuckerrüben, Kartoffel, Gemüse) bzw. Luzerne, liegt der Durchschnitt dagegen bei 21 kg N/ha (n=30), also knapp 60 kg N/ha niedriger. Dieser Unterschied ist größtenteils auf die Bodenbearbeitung vor Bestellung der Winterung zurückzuführen. Abbildung 62 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte für Flächen mit den beiden Kulturen Winterweizen und -gerste, gruppiert nach Folgefrüchten.

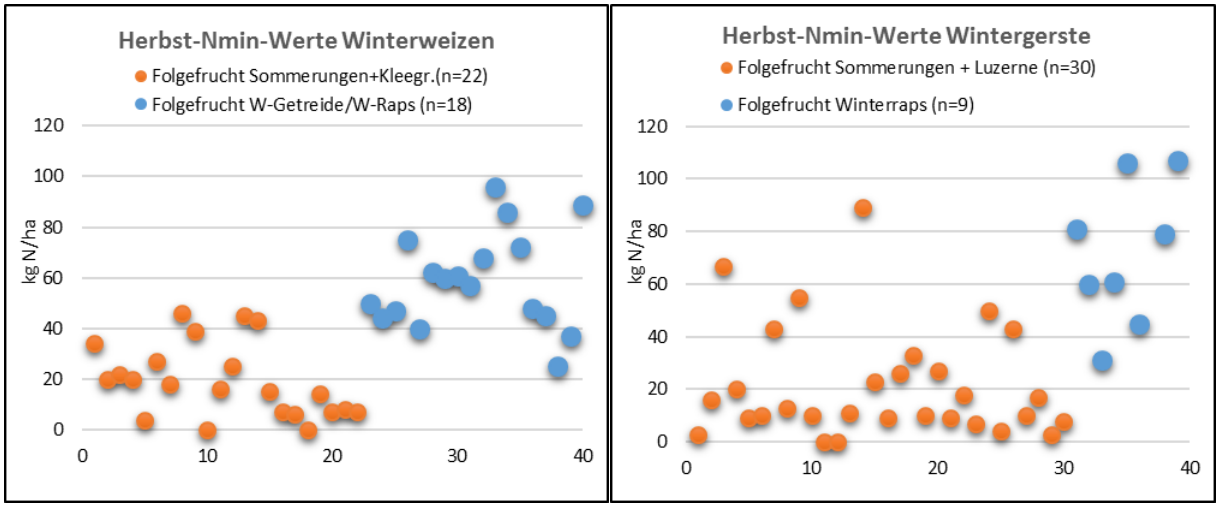


Abbildung 62: Herbst-N_{min}-Werte für W-Weizen und Wintergerste im Prämiengebiet WSG Flüren-Diersfordt bei nachfolgender Sommerung bzw. Winterung

Abbildung 63 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit denen von KzgL-Flächen im WSG Flüren-Diesfordt nach Hauptfrucht des Probenahmejahres.[18]

Wie aus der Grafik zu entnehmen ist, fallen die geschätzten Maßnahmenwirkungen für die Maßnahme „Prämienförderung“ im WSG Flüren-Diersfordt für alle untersuchten Hauptkulturen recht hoch aus. Insbesondere für die im WSG wichtigen Kulturen Grünland und Mais ist die Wirkungsabschätzung von 21 beziehungsweise 34 kg N/ha sehr beachtlich.

[18] Um den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden, fließen die Daten der letzten 4 Jahre in diese Grafik ein. Die verglichenen Werte sind aus methodischen Gründen keine Mittelwerte sondern Mediane, fallen dadurch niedriger aus als in der Abbildung mit Herbst-Nmin-Durchschnittswert nach Kultur. Die Herkunft und Ableitung der Kontrastwerte wird in Kapitel 6.1 zusammengefasst.

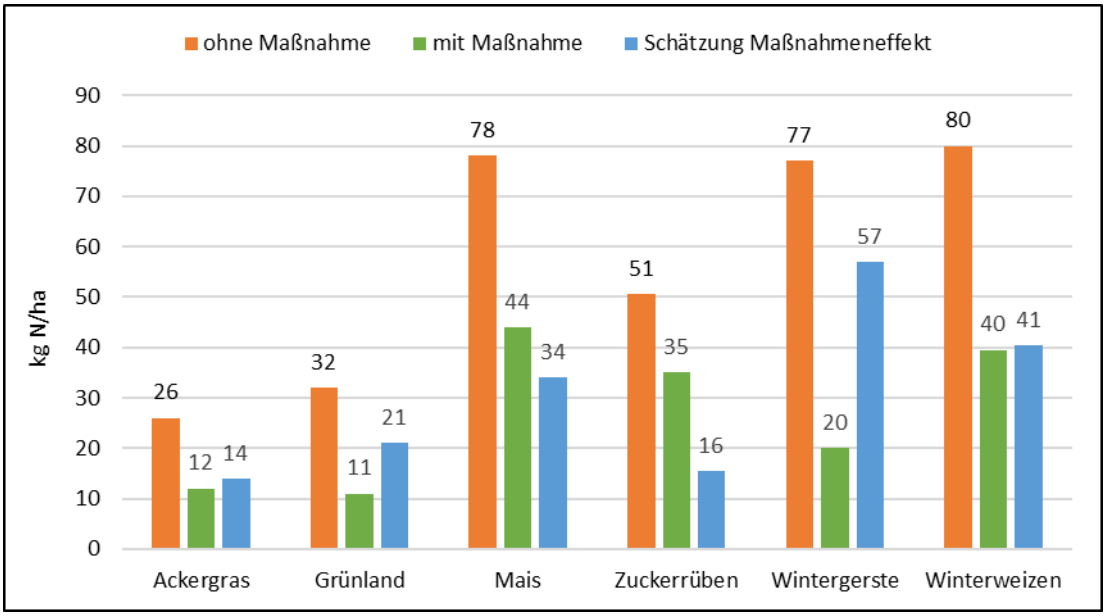


Abbildung 63: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienmodell“ im Prämiengebiet WSG Flüren-Diersfordt

Für Wintergerste und Winterweizen könnten die Wirkungen (57 kg N/ha bzw. 41 kg N/ha) etwas überschätzt sein. Einerseits sind für beide Kulturen die Kontrastwerte etwas hoch (s. Diskussion hierzu in Kapitel 6.1). Bei Wintergerste kommt dazu, dass die Abweichung zwischen dem Mittelwert (35 kg N/ha) und dem Median (20 kg N/ha) höher als üblich ausfällt. Dies ist auf die niedrigen Werte bei nachfolgenden Sommerungen und auf die hohen Werte bei nachfolgendem Winterraps (und Ausreißer der Sommerungen) zurückzuführen, die zwei „Punktwolken“ bilden (s. Abbildung 62). Die Gruppe der hohen Werte schlägt sich somit stark im Durchschnittswert nieder, allerdings liegt der Median der Gesamtmenge (aufgrund der höheren n-Zahl der Sommerungen) im Bereich der Gruppe mit den niedrigen Werten.

7.1.3.4 Zusammenfassende Auswertung

Auf Basis der uns zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Daten, lässt sich an dieser Stelle nur die Kooperationsarbeit im Prämiengebiet („KzgL-Gebiet“) bewerten.

Im Prämiengebiet des WSGs Flüren-Diesfordt werden seit Umsetzung des Prämienmodells (mit Ausnahme des ersten Jahres) im NRW-internen Vergleich sehr gute Herbst-N_{min}-Werte erreicht. Der flächengewichtete Mittelwert liegt bei drei von vier Jahren unter 40 kg N/ha und kann somit als ein sehr deutlicher Erfolg der Kooperationsarbeit gedeutet werden. Dabei ist das Gebiet durch vergleichsweise gute Ausgangsbedingungen gekennzeichnet, da der Anteil von Problemkulturen eher gering und der Grünlandanteil hoch ist. Nichtsdestotrotz zeigt die Schätzung der Maßnahmenwirkung „Prämienförderung“ in allen untersuchten Kulturen eine beträchtliche Wirkung (s. Abbildung 63) und deutet folglich auf systematisch gute Ergebnisse bei der Kooperationsarbeit hin.

Die wichtigste Rolle spielen dabei die sehr guten Werte für Ackergras- und Grünlandflächen, mit Durchschnittswerten unter 20 kg N/ha. Im untersuchten Zeitraum machen beide Kulturen zusammen durchschnittlich 32% der landwirtschaftlichen Fläche im Prämiengebiet aus, sie tragen demnach einen großen Anteil an den geringen Durchschnittswerten bei. Die Werte für Wintergetreide sind auch recht niedrig und liegen dabei ungefähr beim Gebietsdurchschnitt für Herbst-Nmin. Der Anteil an der Fläche von Winterweizen und Wintergerste zeigt eine stark rückläufige Tendenz (von 31% im Jahr 2015 auf 14% im Jahr 2018), gleichzeitig vergrößert sich allerdings die Fläche von Grünland, Wintertriticale und Zuckerrüben, wodurch diese Veränderung nicht als problematisch zu deuten wäre.

Der Maisanteil im Prämiengebiet liegt stabil bei ca. 20% (rein Silomais). Die Ergebnisse für Mais fallen mit einem Durchschnittswert von 50 kg N/ha vergleichsweise gut aus. Allerdings fallen die Werte für Mais im WSG Emmerich-Helenenbusch, das auch rechtsrheinisch und im Norden des Kreis Kleves liegt, deutlich niedriger aus (Durchschnitt von 36 kg NO_3^-/ha, Werte allerdings für Bodennitrat und

nicht Nmin). Sowohl die Rahmenbedingungen der örtlichen Landwirtschaft als auch die Höhe der ausgezahlten Prämie (also der finanzielle Anreiz für den einzelnen Landwirt) scheinen vergleichbar. Ggf. wäre hier ein Erfahrungsaustausch über die Empfehlungen zur Düngung und zur Bodenbearbeitung nach der Ernte mit diesem Gebiet von Gewinn.

Die möglichen Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Herbst-N_{min}-Werte ist besonders deutlich beim Beispiel Winterraps nach Wintergerste zu beobachten. Hier liegen die Durchschnittswerte 60 kg N/ha über den Werten für Wintergerste mit nachfolgender Sommerung (bei allerdings geringer n-Zahl). Eine Tendenz zu einer Erweiterung der Fruchtfolge im WSG mit Winterraps nach Wintergerste wäre also zumindest aus Sicht des Gewässerschutzes nicht unbedingt zu empfehlen.[19] Es könnte an dieser Stelle Potenzial für Anreize geben, die zu einer Minderung im Anbau von Winterraps nach Wintergerste in der Fruchtfolge führen. Wie lohnenswert eine solche Maßnahme wäre, müsste anhand der Entwicklung der mit Winterraps bepflanzten Fläche entschieden werden.

Im KzgL-Gebiet werden die Herbst-N_{min}-Untersuchungen in den ersten drei vollständigen Kalenderwochen im November durchgeführt. Dieser Starttermin scheint im bundesweiten Vergleich etwas spät,[20] die Möglichkeit einer früheren Probenahme könnte überprüft werden.

7.1.4 Hartefeld

7.1.4.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Hartefeld liegt im unteren Niederrheingebiet, südöstlich der Stadt Geldern. Das Gebiet ist 15,9 km^2 groß und geprägt von landwirtschaftlichen Flächen mit nur wenigen kleineren Ansiedlungen und dem Dorf Hartefeld. Die landwirtschaftliche Fläche beträgt 1244,1 ha. Das Gebiet wird von West nach Ost von der Duisburger Straße durchquert, zu der parallel und leicht nördlich der Sevelener Landwehrbach liegt.

Die Kooperation in Hartefeld wurde im Jahr 1991 gegründet. Im Jahr 1998 wurde ein Prämienmodell für ein Extensivierungsgebiet ins Leben gerufen, zuerst einmal von 80 ha Größe. Das Gebiet wurde im Jahr 2000 auf 320 ha und im Jahr 2003 auf 430 ha ausgeweitet. Diese Fläche blieb konstant bis sie im Jahr 2015 auf 500 ha ausgeweitet wurde.

Somit ist das WSG Hartefeld aufgeteilt in ein Prämiengebiet („Extensivierungsgebiet“), welches sich über die WSZ II, den Nordosten der WSZ IIIa und einer kleinen Fläche im Nordosten der WSZ IIIb erstreckt und ein Beratungsgebiet, welches praktisch alle weiteren landwirtschaftlichen Flächen in der WSZ IIIa und IIIb umfasst (s. Karte im Anhang 10.2.4). Das Prämiengebiet ist nach einer Studie zum Abbaupotenzial des Untergrunds von Nitrat und einer Auswertung von Nitratgehalten im Grundwasser entstanden. Daraufhin wurde das Prämiengebiet für einen Bereich mit niedrigerem Denitrifikationspotenzial und erhöhten Nitratgehalten im Grundwasser eingeführt. Die oben erwähnte Erweiterung des Prämiengebiets im Jahre 2015 geschah in Richtung Westen und Norden. Diese Erweiterung ist auf Grundlage einer Studie im Auftrag der Stadtwerke Geldern hervorgegangen, in der eine Ausbreitung der erhöhten Nitratgehalte in den Westen der WSZ IIIa und damit näher in Richtung der Brunnen ermittelt wurde.

Neben dem Prämiengebiet liegen circa 750 ha weitere landwirtschaftliche Fläche innerhalb des WSGs Hartefeld, in denen keine Flächenmaßnahmen gefördert werden (weder mittels Prämien noch mit direktem Ausgleich für umgesetzte Maßnahmen). Die Kooperationslandwirte erhalten auf diesen Flä-

[19] Wenn in der Fruchtfolge einer KzgL-Fläche nach Gerste eine Sommerung geplant ist, kann davon ausgegangen werden, dass zwischen Gerstenernte im Juli und der nachfolgenden Sommerung eine Zwischenfrucht angebaut wird. Die im Vergleich zu Winterraps geringeren Werte sind wahrscheinlich auf ein hohes Stickstoffaufnahmepotenzial der Zwischenfrucht (auch dank des frühen Erntetermins der Gerste) und auf eine weniger intensive Bodenbearbeitung bei der ZF-Aussaat zurückzuführen.

[20] Vgl. dazu der Probenahmezeitraum in Baden-Württemberg findet vom 15. Oktober bis zum 15. November statt, und NLWKN (2015): „Der Probenahmezeitpunkt sollte unmittelbar vor Beginn der Sickerwasserbildung im Herbst gewählt werden. Die optimale Zeit liegt zwischen Mitte Oktober und Ende November, kann aber witterungsbedingt davon abweichen.“

chen alle Hilfestellungen, auf die man im Rahmen der Gewässerschutzberatung der Kooperation zugreifen kann. Aus diesem Grund werden diese Flächen in dieser Studie „Beratungsgebiet“ genannt. Mit insgesamt 36 Landwirten sind alle Landwirte und existierenden landwirtschaftlichen Flächen des WSGs Hartefeld Teil der Kooperation. Der aktuelle Berater ist seit 1998 im WSG beratend tätig.

In der Abbildung 64 sind die jeweiligen Anteile der angebauten Kulturen der Jahre 2008 bis 2017 und der beiden Gebiete (Beratungs- und Prämiengebiet) dargestellt. Die Abbildung ist aufgeteilt in rote Farben (potenzielle Problemkulturen bezogen auf die Auswaschungsgefahr von hohen Stickstoffmengen: Mais, Kartoffeln und Gemüse) und gelbbraune Farben für die weiteren Hauptkulturen (Ackergras, Grünland, Wintergerste, Winterweizen und Zuckerrüben). Alle nicht extra benannten Kulturen sind in der Farbe braun unter Sonstiges zusammengefasst.

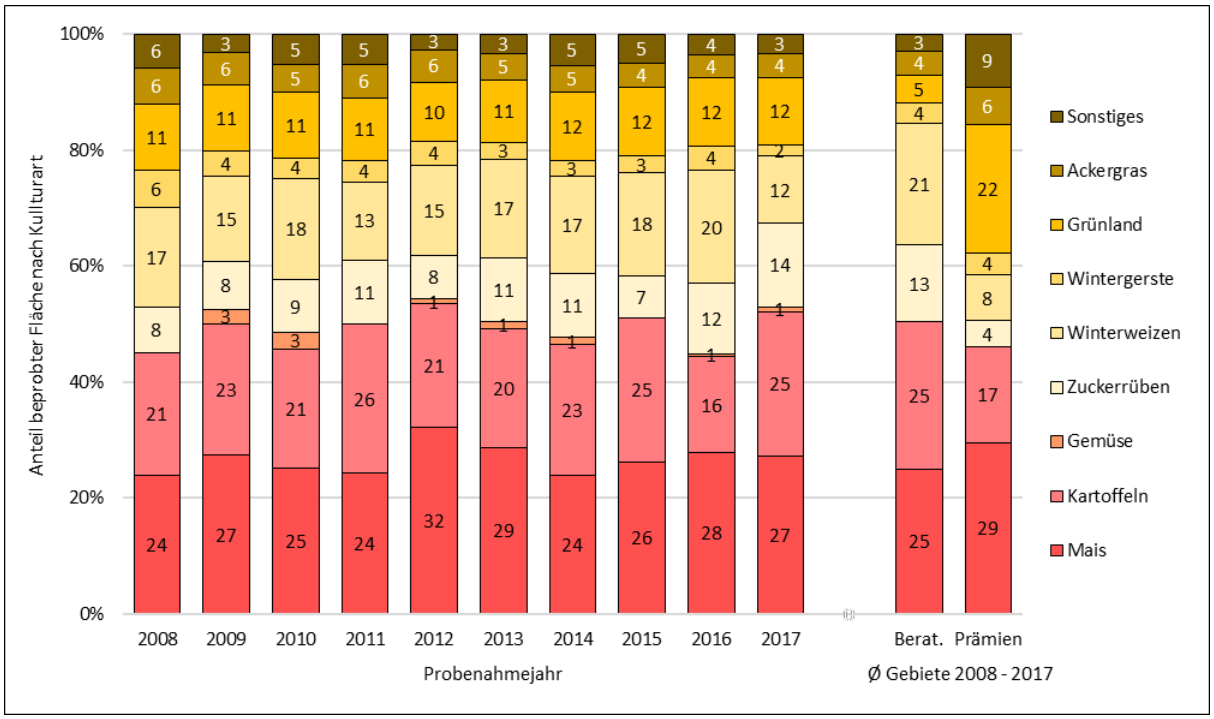


Abbildung 64: Verteilung der Fruchtarten auf den beprobten Standorten (Zeitraum 2008 - 2017)

Mit Abwandlungen ist die dominante Fruchtfolge im Gebiet eine dreijährige mit Getreide, Mais und Kartoffeln (bei kartoffelfähigen Böden). Einige Kartoffelbauern / Pächter ziehen eine viergliedrige Fruchtfolge mit Kartoffeln vor. Grünland gibt es vorwiegend nahe des Sevener Landwehrbaches, im Norden des WSGs. Die dominante Fruchtfolge spiegelt sich in Abbildung 64 wider, die einen relativ hohen Kartoffelanteil von durchschnittlich über 20% und einen beträchtlichen Maisanteil von zwischen 25 und 30% aufweist. Da die Flächen um den Sevener Landwehrbach Teil des Prämiengebiets sind, ist auch in Abbildung 64 ein deutlich höherer Anteil an Grünland- und Ackergrasflächen im Prämiengebiet vorzufinden (Säule Prämiengebiet).

Der Anteil an Problemkulturen in Hartefeld lag von 2008 bis 2017 zwischen 45 und 54%, mit einem Durchschnittswert um die 50%. Die Kulturen zeigen keine eindeutigen Trends, sondern unterliegen lediglich jährlichen Schwankungen, die diverse Gründe haben können, wie z. B. Marktpreise und Fruchtfolge. Neben Mais und Kartoffeln nehmen auch Grünland, Winterweizen und Zuckerrüben einen hohen Anteil am Anbaumix ein. Beim Vergleich des Beratungs- und Prämiengebiets fällt zusätzlich zum höheren Grünlandanteil im Prämiengebiet ein niedrigerer Anteil an Kartoffeln, Winterweizen und Zuckerrüben auf.

Die Intensität der Landwirtschaft im WSG Hartefeld kann insgesamt als hoch eingestuft werden. Zum hohen durchschnittlichen Anteil an Problemkulturen von 50% kommen beträchtliche GVE/ha-Zahlen in den Gemeinden Geldern, Issum und Kerken (zwischen 1,6 und 1,8) und hohe Gülleimporte aus den Niederlanden im Kreis Kleve im betrachteten Zeitraum dazu. Letztere waren in den vergangenen Jahren allerdings rückläufig (27,1 kg N/ha landw. Fläche im Jahr 2013, 10,3 kg N/ha landw. Fläche im

Jahr 2016). Diese landwirtschaftliche Intensität schlägt sich in den N-Bilanzüberschüssen nieder, die im Rahmen des GROWA+ NRW2021 Projekts für diese Gemeinden modellierten wurden, mit Werten in der zweithöchsten und der höchsten Klasse (Kategorie „50 bis unter 60 kg N“ und Kategorie „größer als 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017).

7.1.4.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit:

Wie oben erwähnt ist das WSG Hartefeld in zwei Gebiete aufgeteilt.

Fördermodalität im Prämiengebiet

Im Gebiet mit Prämienmodell werden Ausgleichszahlungen getätigt, wenn festgelegte Herbst-N_{min}-Grenzwerte unterschritten werden. Von 2013 bis 2017 wurden bei folgenden Grenzwerten Ausgleichszahlungen veranlasst:

- bei 55-70 kg N/ha = 130 €/ha für Ackerbauflächen bzw. 110 €/ha für Grünlandflächen
- bei <55 kg N/ha = 380 €/ha für Ackerbauflächen bzw. 320 €/ha für Grünlandflächen
- bei <30 kg N/ha = 480 €/ha für Ackerbauflächen bzw. 420 €/ha für Grünlandflächen (obige Prämie + Zusatzprämie von 100 €/ha).

Mit Auszahlung einer Prämie sind zusätzliche Auflagen verbunden, unter anderem:

- Eine kulturspezifische reduzierte N-Düngung (ca. 40%), die mit moderner Technik durchgeführt werden muss.
- Besatzstärke von maximal 3 GV/ha mit Ende der Weidezeit Ende Oktober.
- Jährliche Untersuchung der Wirtschaftsdünger.
- Anrechnung des Gesamt-N-Gehaltes bei Gülle.
- Winterbegrünung.

Kontrolliert wird die Umsetzung der Auflagen über 3-jährliche Bodenuntersuchungen und der Überprüfungen von Schlagkarteien.

Die Kombination von Prämie (+Zusatzprämie) mit der Förderung einzelner, weiterführender Maßnahmen im Prämiengebiet stellt einen weiteren interessanten Aspekt dar. Bei Einhaltung gewisser Bedingungen (die auch die Vorkultur betreffen) wird der Anbau von Sommergetreide (250 €/ha) und der Verbleib von Getreide- bzw. Maisstroh auf dem Acker (90 bzw. 150 €/ha) gefördert. Für Grünlandflächen gibt es eine Sonderzahlung bei Herbstschnitt (155 €/ha).

Darüber hinaus gibt es zwei Förderungen, die eine Veränderung im Anbau bzw. bei der Bewirtschaftung bezwecken:

- Umwandlung von Ackerbau zu Ackergras für 5 Jahre (ohne Beweidung, 700 €/ha und Jahr)
- Umwandlung von Grünland zu Schnittflächen für 5 Jahre (ohne Beweidung, 500 €/ha und Jahr)

Der Export von Gülle wird finanziell unterstützt. Neben den Gewässerschutzberatungen unterstützt der Berater auch den Tausch von Gülle unter Kooperationslandwirten (Güllemanagement).

Herbst-N_{min}-Werte werden auf jedem Schlag beprobt und fließen in die Beratung ein. Die Kooperation finanziert darüber hinaus monatliche N_{min}-Proben auf 10 bis 12 Kooperationsflächen.

Kooperationsarbeit im Beratungsgebiet

Auch im Beratungsgebiet werden auf allen landwirtschaftlichen Flächen Herbst-N_{min}-Beprobungen durchgeführt. Es gibt allerdings keine finanziellen Anreize für Landwirte, die das Unterschreiten von Herbst-N_{min}-Grenzwerten fördern. Stattdessen unterstützen die Ergebnisse die Gewässerschutzberatung, die mit den gleichen Inhalten und gleicher Intensität wie im Prämiengebiet geführt wird. Die Herbst-N_{min}-Werte dienen als weitere Grundlage für die Beratungsgespräche und zur Orientierung für die Düngeplanung der Landwirte.

Neben den Gewässerschutzberatungen unterstützt der Berater auch den Tausch von Gülle unter Kooperationslandwirten (Güllemanagement).

Die Kooperationsarbeit im WSG Hartefeld ist von der Struktur her der im WSG Emmerich-Helenenbusch oder Flüren-Diersfordt ähnlich. Dort wird die Fläche des WSGs in ein „Prämiengebiet“ (Landwirte werden nach Herbst-N_{min}-Werte gefördert) und ein „Beratungsgebiet“ (es werden keine bzw. kaum Maßnahmen gefördert, der Schwerpunkt der Kooperationsarbeit liegt in der Beratung) aufgeteilt. Ein wesentlicher Unterschied zu diesen Gebieten liegt darin, dass die Herbst-N_{min}-Beprobungen nicht nur im Prämiengebiet, sondern auch in den Schlägen des Beratungsgebiets genommen werden. Dies schafft eine sehr gute Datenlage, - mit mehr als 3000 ermittelten Werten für den Zeitraum 2008 bis 2017 - um die Herbst-N_{min}-Werten auszuwerten. Dadurch können die Erfolge der Kooperationsarbeit gut nachvollzogen und auch zwischen den beiden Gebieten im WSG Hartefeld verglichen werden.

7.1.4.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im gesamten WSG

In der Abbildung 65 werden die jährlichen Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte für das Gesamtgebiet des WSG Hartefeld dargestellt.

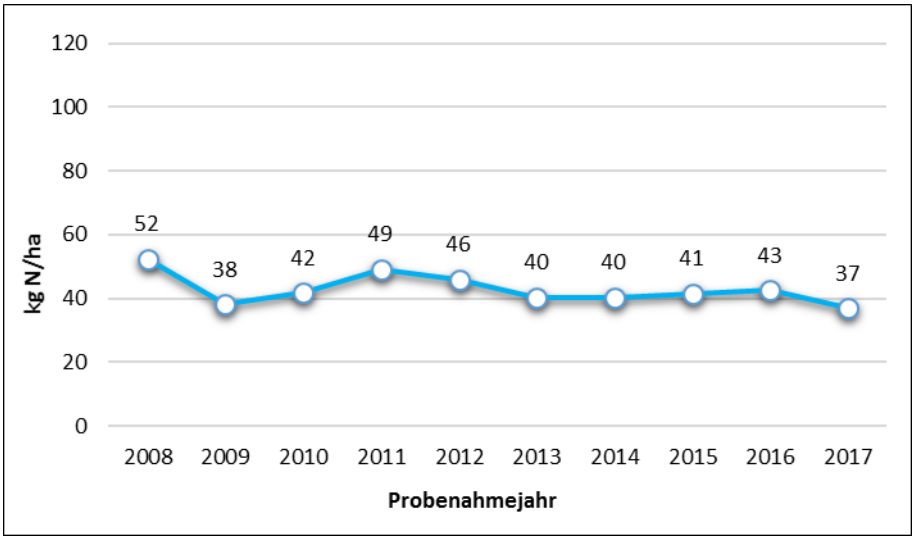


Abbildung 65: Entwicklung der Herbst-N_{min}-Werte für das Gesamtgebiet des WSGs Hartefeld von 2008 bis 2017 [kg N/ha]

Im Zeitraum 2008 bis 2017 schwankt der jährliche Durchschnittswert für Herbst-N_{min}-Werte im WSG Hartefeld zwischen 37 und 52 kg N/ha. Er liegt mit einem Durchschnitt von knapp unter 43 kg N/ha für den gleichen Zeitraum auf einem sehr niedrigen Niveau. Dies ist besonders bemerkenswert, da in die Berechnungen nicht nur das Prämien- sondern auch das Beratungsgebiet (keine Ausgleichszahlungen und entsprechend kein finanzieller Anreiz für eine gewässerschonende Landwirtschaft) eingeflossen sind. Hervorzuheben ist zudem, dass trotz des ziemlich hohen Anteils an Problemkulturen im Anbaumix (vgl. Abbildung 64) und der relativ hohen landwirtschaftlichen Intensität im Gebiet (s. oben), ein sehr guter Herbst-N_{min}-Durchschnittswert vorliegt. Die Kurve zeigt außerdem eine leicht fallende Tendenz (im Schnitt von 0,85 kg N/ha jährlich) auf und deutet somit auf eine im Durchschnitt verringerte jährliche Stickstoffbelastung der Böden im WSG Hartefeld hin.

In der Abbildung 66 sind die Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte des Gesamtgebiets in Abhängigkeit von der Vorfrucht (Hauptkultur des Probenahmejahres) für den Zeitraum 2014 bis 2017 abgebildet (Die Daten der Jahre 2014-2017 fließen in diese Grafik ein, um einerseits den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden und andererseits den jahresbedingten Einfluss von Witterungseffekten zu minimieren).

Die Abbildung zeigt vergleichsweise niedrige Werte bei allen Kulturen. Die höchsten Werte werden von den klassischen Problemkulturen Kartoffeln und Mais erreicht. Dennoch gehört der Durchschnittswert für Mais von 53 kg N/ha, zu den niedrigsten Werten für Mais in den untersuchten Gebieten. Auch

für Kartoffeln ist ein Durchschnittswert von 62 kg N/ha sehr gering; er liegt 40 kg N/ha unter den Durchschnittswerten anderer untersuchter WSG.

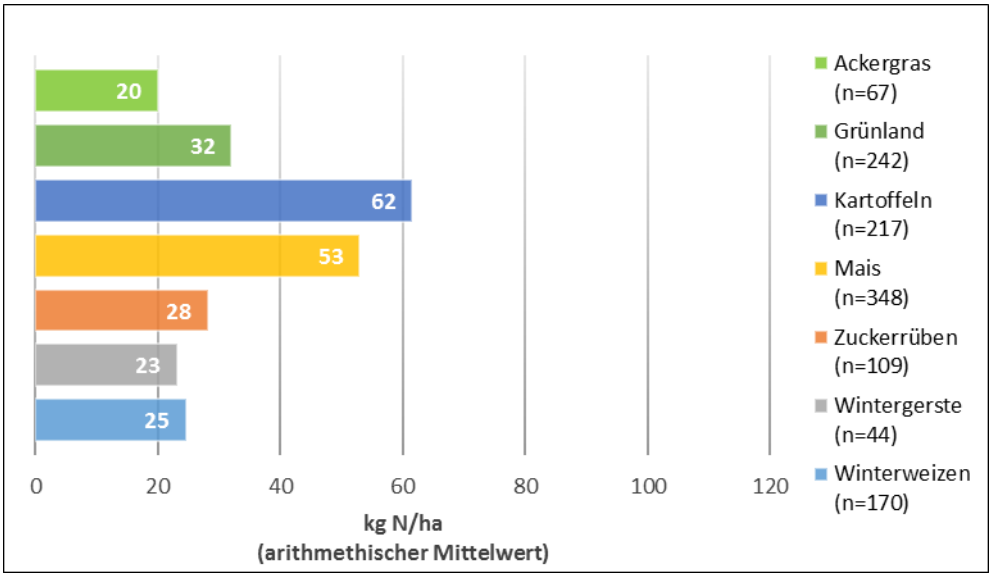


Abbildung 66: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Hartefeld

7.1.4.4 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im Prämien- und Beratungsgebiet

In der Abbildung 67 sind die Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte des Prämien- und Beratungsgebiets gemeinsam aufgeführt.

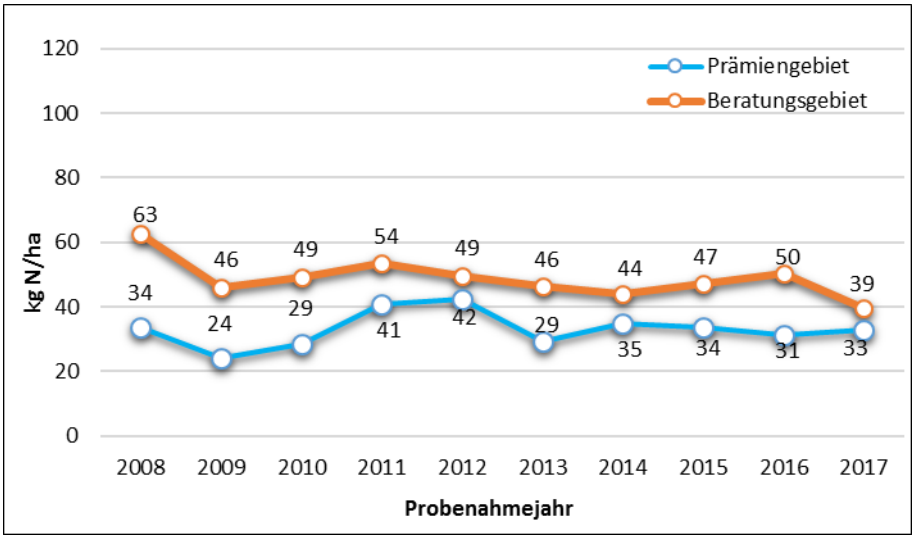


Abbildung 67: Entwicklung der Herbst-N_{min}-Werte im Beratungs- und Prämiengebiet - WSG Hartefeld (flächengewichteter Mittelwert, alle Kulturen)

Der 10-jährige Herbst-N_{min}-Durchschnittswert liegt für das Prämiengebiet mit 33 kg N/ha auf einem vergleichsweise extrem niedrigen Niveau. Der Durchschnittswert im Beratungsgebiet von 49 kg N/ha (ca. 50% über dem des Prämiengebiets) ist als sehr niedrig einzustufen, da man die Tatsache berücksichtigen muss, dass hier keine Ausgleichszahlungen geleistet wurden. Die jährlichen Unterschiede zwischen dem Prämien- und Beratungsgebiet schwanken im betrachteten Zeitraum zwischen 29 kg N/ha bis 6 kg N/ha und nehmen im Laufe der Jahre ungleichmäßig ab.

Mit Ausnahme von zwei Jahren, in denen Durchschnittswerte von knapp über 40 kg N/ha erreicht wurden, liegen die Werte im Prämiengebiet für die verbleibenden 8 Jahre gleich oder unter 35 kg N/ha.

Für 3 Jahre werden sogar Werte unter 30 kg N/ha gemessen. Im Vergleich stellen diese Ergebnisse extrem niedrige Werte dar, die sich jedoch seit Beginn des betrachteten Zeitraums auf diesem Niveau befinden. Es erweckt somit den Anschein, dass sich das Prämiengebiet bereits vor dem betrachteten Zeitraum auf diesem Niveau eingependelt haben könnte und folglich auch das Potenzial bei den gegebenen Förderbedingungen weitgehend ausgeschöpft ist.

In der Abbildung 68 werden jeweils für das Prämien- und für das Beratungsgebiet die Herbst-N_{min}-Werte ausgewählter Kulturen in Abhängigkeit der Vorfrucht aufgeführt.

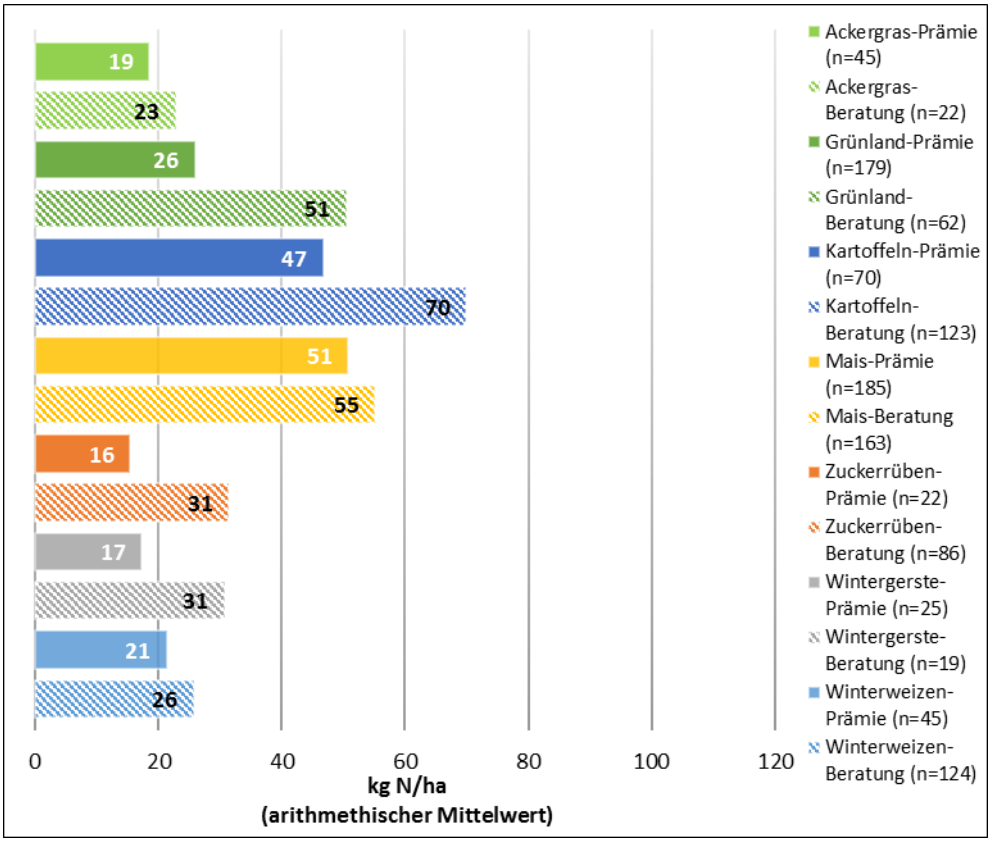


Abbildung 68: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres im Prämien- und Beratungsgebiet - WSG Hartefeld

Praktisch alle Kulturen weisen sehr niedrige Werte im Prämiengebiet auf. Die wichtigen Kulturen Ackergras und Grünland erreichen im Durchschnitt einen Herbst-N_{min}-Wert um 20 bzw. 25 kg N/ha; mit einem durchschnittlichen Anteil von insgesamt 28% an der Fläche des Prämiengebiets leisten sie somit einen bedeutenden Beitrag für die geringe Stickstoffbelastung in diesem Gebiet. Die „Problemkulturen“ Mais und Kartoffeln nehmen im Durchschnitt 29% bzw. 17% der landwirtschaftlichen Fläche ein und machen gemeinsam sogar fast 50% der Prämiengebietsfläche aus. Aufgrund ihrer sehr geringen Werte um 50 kg N/ha herum, können sie als sehr gute Ergebnisse betrachtet werden und tragen maßgeblich zu den sehr niedrigen Gesamtdurchschnittswerten für Herbst-Nmin im Prämiengebiet bei, der bei dem hohen Problemkulturanteil sehr bemerkenswert ist. Insbesondere der Wert für Kartoffeln sticht im Prämiengebiet hervor, der mit 47 kg N/ha weniger als die Hälfte der Durchschnittswerte anderer untersuchter Prämiengebiete darstellt (vgl. auch Diskussion zu Kartoffelwerten unten). Die Durchschnittswerte für Wintergetreide fallen im Prämiengebiet mit Werten um die 20 kg N/ha ebenfalls extrem niedrig aus.

Im Beratungsgebiet liegen die Werte zwar etwas höher als im Prämiengebiet, sie sind jedoch im Vergleich zu anderen untersuchten Gebieten niedrig – und das bei ausbleibender Ausgleichszahlung. Auffällig ist der mit 51 kg N/ha um 25 kg N/ha deutlich höher liegende Durchschnittswert von Grünland, der mit 70 kg N/ha um 23 kg N/ha deutlich höher liegende Wert von Kartoffeln und der kaum höher liegende Wert von Mais im Vergleich zum Prämiengebiet.

Abbildung 69 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte für Flächen mit Kartoffeln im Prämien- bzw. im Beratungsgebiet, aufgeteilt nach Art der Folgefrucht. Die unterschiedliche „Höhe“ der Punktwolken hängt mit den unterschiedlichen Durchschnittswerten in den Gebieten zusammen (Prämiengebiet = 47 kg N/ha, Beratungsgebiet = 70 kg N/ha; s. Abbildung 68). Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Durchschnittswert für Kartoffeln im Beratungsgebiet mit 70 kg N/ha immer noch vergleichsweise niedrig ausfällt, da in mehreren Gebieten die Durchschnittswerte für diese Kultur über 100 kg N/ha liegen.

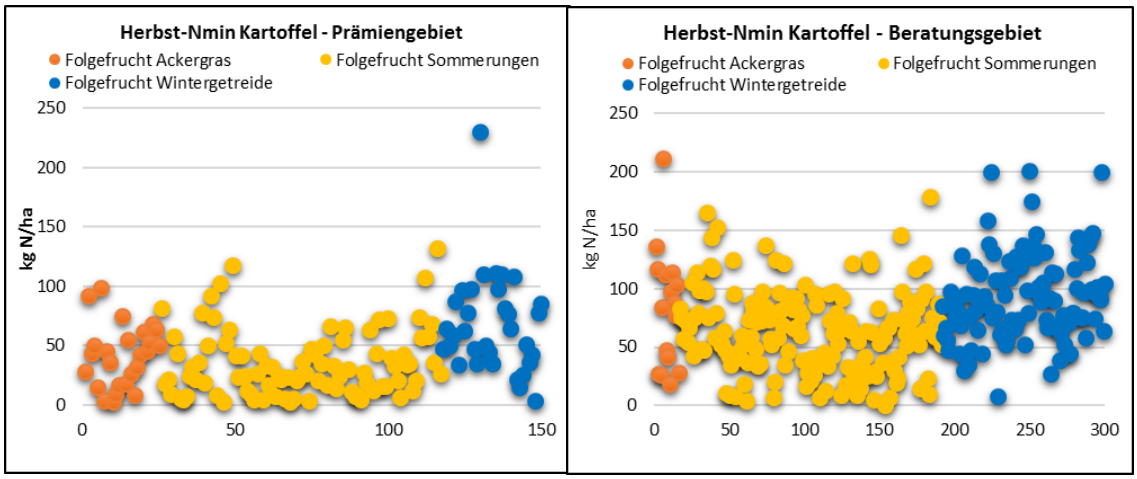


Abbildung 69: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Kartoffeln als Hauptfrucht des Probenahmejahres bei unterschiedlichen nachfolgenden Kulturen - Prämien- und Beratungsgebiet

In der Grafik für beide Gebiete werden die Auswirkungen einer Beratung mit langfristigem finanziellen Anreiz mit denen einer ausschließlichen Beratung für die Kultur Kartoffel verglichen. Die Grafik verdeutlicht, wie die Landwirte durch den finanziellen Anreiz zu mehr Aufwand im Sinne des Gewässerschutzes motiviert werden. Für die Kartoffelflächen, die im darauffolgenden Jahr eine Sommerung bekommen, liegen die Werte im Beratungsgebiet durchschnittlich 27 kg N/ha höher als im Prämiengebiet. Dieser Unterschied beruht unter anderem darauf, dass man bei Kartoffelflächen im Prämiengebiet, sofern möglich (auch zwecks Prämie), von einem Zwischenfruchtanbau vor einer nachfolgenden Sommerung ausgehen kann. Im Beratungsgebiet ist dies jedoch nicht automatisch der Fall (wo tendenziell auch mehr Spätkartoffeln verzeichnet werden, nach denen ggf. ein Zwischenfruchtanbau terminlich nicht mehr möglich ist). Ein weiterer Grund könnte sein, dass im Prämiengebiet über mehrere Jahre sorgfältigere Düngungen durchgeführt wurden (ggf. mit weniger organischen Düngern). Die Mineralisationsschübe der im Boden erhaltenen organischen Stickstoffverbindungen würden, z. B. nach einer Bodenbearbeitung bzw. Herbstbestellung, weniger stark in den Flächen ausfallen, in denen seit Jahren sorgfältiger bzw. mit weniger Organik gedüngt wurde.

Für Kartoffelflächen mit Folgefrucht Wintergetreide liegen die Durchschnittswerte 24 kg N/ha auseinander. Auch für diese Flächen könnte die seit Jahren sorgfältigere Düngung Grund dafür sein, dass sie sich in einem geringeren Mineralisationsschub in Folge der Herbstbestellung auswirken. Die Werte für Kartoffelflächen mit Ackergras als Folgefrucht liegen im Beratungsgebiet im Durchschnitt 40 kg N/ha höher. Dies könnte damit zusammenhängen, dass es in Vergangenheit kein Verbot für die Düngung nach Kartoffeln gab. Während der Landwirt im Prämiengebiet aufgrund der Prämien einen Anreiz hat, bei Grasaussaat effizient zu düngen, ist dieser Anreiz im Beratungsgebiet nicht unbedingt vorhanden. Somit lassen sich auch diese Unterschiede als Erfolg der Prämienförderung verstehen.

Abbildung 70 zeigt, dass ein deutlicher Unterschied auch bei Winterweizenflächen mit Folgefrucht Wintergetreide zwischen Prämien- und Beratungsgebiet zu beobachten ist. In diesem Fall liegt der Durchschnitt knapp über 30 kg N/ha. Auch hier liegt die Vermutung nahe, dass Unterschiede in der langjährigen Düngung zu Unterschieden in der Mineralisation nach der Herbstbestellung führen. Außerdem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Herbstdüngung für Wintergetreide im Prämiengebiet (aufgrund der Prämiengrenzwerte) ggf. sorgfältiger als im Beratungsgebiet durchgeführt wird.

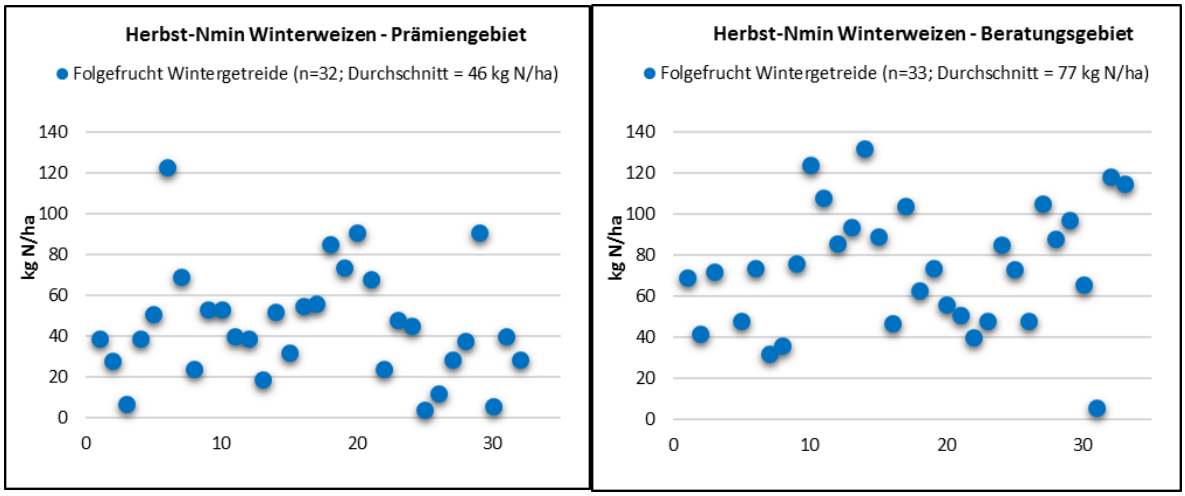


Abbildung 70: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres mit Folgefrucht Wintergetreide - Prämien- vs. Beratungsgebiet

Generell zeigt der Vergleich der Werte beider Gebiete in Abbildung 68 wie sich die finanziellen Anreize im Prämiengebiet auswirken, denn alle Kulturen im Prämiengebiet weisen niedrigere Werte auf.

Abbildung 71 vergleicht die Herbst-N_{min}-Werte (Mediane) für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit Flächen des Prämien- und Beratungsgebietes im WSG Hartefeld nach jeweiliger Kultur.

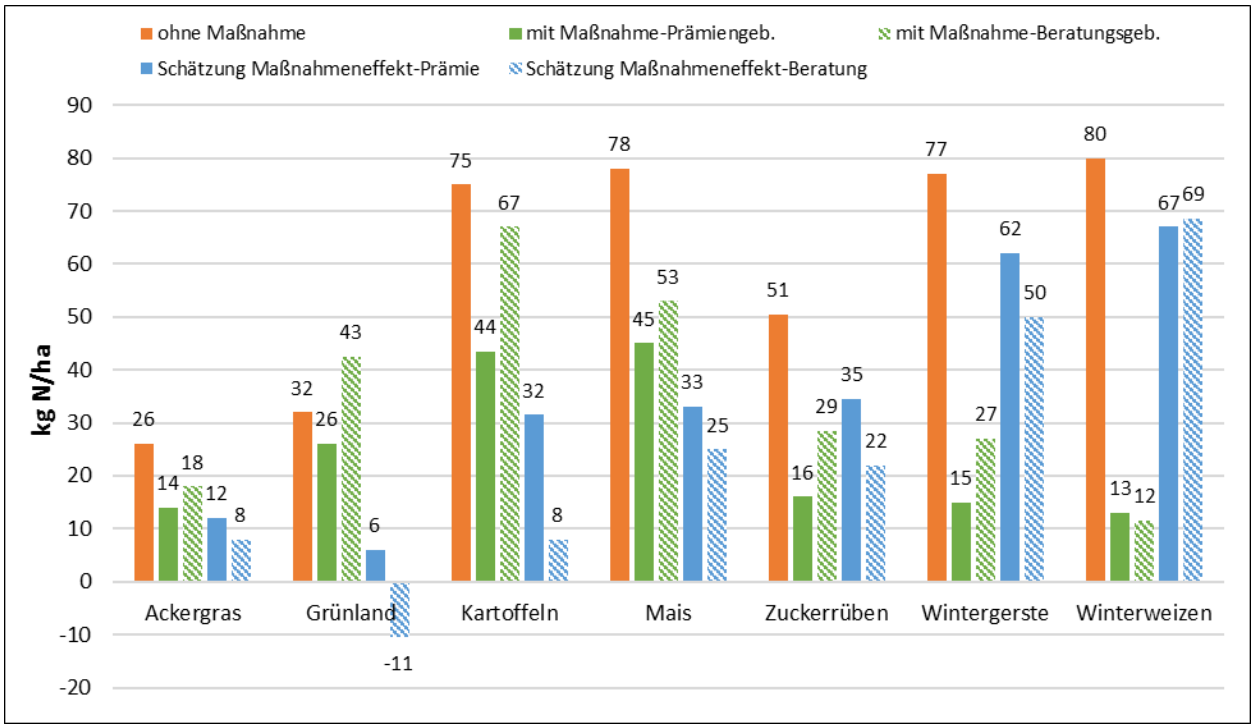


Abbildung 71: Schätzung der Maßnahmenwirkung des Prämien- und des Beratungsgebiets in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres (Mediane)

Im Prämiengebiet fällt die Schätzung der Maßnahmenwirkung über alle Kulturen positiv und im Vergleich zu anderen Gebieten sehr hoch aus. Besonders stark werden diese Effekte bei den betrachteten Arten von Wintergetreide (über 60 kg N/ha) und den Sommerungen (über 30 kg N/ha) geschätzt. Auch bei Ackergras und Grünland ergibt die Schätzung eine deutliche Maßnahmenwirkung. Diese

Erfolge sind vermutlich die Auswirkung einer stabilen und etablierten Kooperationsstruktur, des signifikanten finanziellen Anreizes der Prämien, der intensiven und längerfristig bestehenden Wasserschutzberatung durch den gleichen Berater und des „Güllemanagements“ des Beraters im Gebiet.

Auch im Beratungsgebiet wird eine positive Maßnahmenwirkung bei allen Kulturen geschätzt: Lediglich bei Grünland liegt der Wert höher als der Kontrastwert. Dies obwohl im Beratungsgebiet keine Prämien ausgezahlt werden. Ein relevanter Aspekt für diesen Erfolg könnte an der Herbst-N_{min}-Beprobung aller Flächen liegen, da damit eine weitere Grundlage für die Beratung der Landwirte gegeben ist, die konkret und einfach nachvollziehbar ist. Zudem hilft das „Güllemanagement“ den vorhandenen Wirtschaftsdünger im Gebiet zwischen den Landwirten sinnvoll zu verteilen. Ferner könnten „Lerneffekte“ einen weiteren Aspekt darstellen. So könnten z. B. Landwirte mit Flächen auf beiden Gebieten ihr über Jahre erarbeitetes Wissen aus den Prämiengebietsflächen auf die Beratungsgebietsfläche übertragen.

7.1.4.5 Zusammenfassende Auswertung

Das WSG Hartefeld zeichnet sich durch sehr gute Herbst-N_{min}-Werte aus, trotz einer hoch intensiven Landwirtschaft sowohl im Gebiet selbst als auch in der benachbarten Region (hoher Anteil an Problemkulturen im WSG, relativ hohe GVE/ha-Zahl, hohe, wenn auch rückläufige Gülleimporte aus den Niederlanden). Insbesondere im Prämiengebiet, in welchem zusätzlich zu einer lang etablierten Wasserschutzberatung relativ hohe Ausgleichszahlungen hinzukommen, sind die Werte für alle untersuchten Hauptkulturen sehr gering und der durchschnittliche Herbst-N_{min}-Wert über die Jahre ist mit 33 kg N/ha sehr niedrig. Dies ist ein großer und sehr deutlicher Erfolg der Kooperationsarbeit.

Auch im Beratungsgebiet zeigt die Kooperationsarbeit beeindruckende Ergebnisse, obwohl keine Ausgleichszahlungen geleistet werden. Dort erreicht der Herbst-N_{min} einen flächengewichteten Durchschnittswert von 49 kg N/ha. Hier scheint es nicht unwesentlich für das Erreichen dieser Werte zu sein, dass die Flächen nach Herbst-N_{min}-Werten beprobt werden, obgleich sie nicht im Zusammenhang mit einer Prämie stehen (Kosten werden von den Stadtwerken übernommen). Dies ermöglicht Berater und Landwirt eine konkrete Rückmeldung auf u. a. das Düngeverhalten und ggf. das Identifizieren von Potenzialen im Sinne des Grundwasserschutzes.

Im Prämiengebiet befinden sich die Werte seit Beginn des Betrachtungszeitraums trotz leichter Schwankungen auf einem sehr guten Niveau. Das Potenzial für weitere Minderungen unter den gegebenen Maßnahmen scheint bereits in den vorherigen Jahren ausgeschöpft worden zu sein. Lediglich bei Grünland scheinen die Werte noch nicht so niedrig zu sein, wie in anderen vergleichbaren Gebieten. Die Ursache dieses Zusammenhangs könnte einen Anlass zur Untersuchung darstellen, um weitere Reduktionspotenziale zu identifizieren.

Im Beratungsgebiet liegen die Herbst-N_{min}-Werte zwar etwas höher als im Prämiengebiet, dennoch ergibt die Schätzung der Maßnahmenwirkung für alle Kulturen (bis auf Grünland[21]) eine Minderung. Für ein Gebiet, in dem lediglich Beratung stattfindet, liegen die Durchschnittswerte sehr niedrig. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass im Beratungsgebiet auch in den letzten Jahren die Werte weiterhin gesunken sind. All dies lässt sich als ein weiterer deutlicher Erfolg der Kooperationsarbeit deuten.

Aus den Daten lässt sich möglicherweise auch eine untere Grenze bei den Werten im Beratungsgebiet herauslesen, die je nach Kultur unterschiedlich hoch über die entsprechenden Werte im Prämiengebiet liegen. Abbildung 69 und Abbildung 70 illustrieren die Unterschiede in den Werten für zwei unterschiedliche Kulturen in den jeweiligen Gebieten, die möglicherweise auf den fehlenden finanziellen Anreiz im Beratungsgebiet zurückzuführen sind.

[21] Hier ist der niedrige Kontrastwert für Grünland mit einem Median von 26 kg N/ha zu beachten.

7.1.5 Kooperation Nettetal: WSG Breyell, Lobberich, Kaldenkirchen-Grenzwald

7.1.5.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Die Kooperation Nettetal umfasst die drei Wasserschutzgebiete Breyell (6,2 km² Gesamtfläche), Lobberich (13,9 km² Gesamtfläche) und Kaldenkirchen (15,5 km² Gesamtfläche, auch Kaldenkirchen-Grenzwald genannt). Die Gebiete liegen im Niederrhein im Kreis Viersen, zwischen Dülken, Lobberich und der niederländischen Grenze. Zum Süden grenzen die WSG Breyell und Lobberich an das WSG Dülken-Boisheim. Die Karten im Anhang 10.2.5 und 10.2.6 zeigen die Wasserschutzgebiete, mitsamt Produktionsbrunnen und Wasserschutzzonen.

Die Kooperationsarbeit in den drei Wasserschutzgebieten der Kooperation ist einheitlich: Satzung, Rahmenbedingungen der Zusammenarbeit zwischen Stadtwerken und Landwirten, Bewirtschaftungsmaßnahmen, weitergehende Maßnahmen und Finanzierung sind für alle drei Gebiete gleich. Auch die Erfolgskontrolle mittels Herbst-N_{min}-Beprobungen ist einheitlich und wird in einer gemeinsamen Datei dokumentiert. Aufgrund dieser Tatsache und auch als Ergebnis der Sicherstellung des Datenschutzes für die Landwirte wurde dem Auftragnehmer ein gemeinsamer Datensatz für die gesamte Kooperation übergeben, der die Grundlage für die untenstehende Auswertung liefert. In diesem Kapitel wird folglich die Kooperationsarbeit in den drei Wasserschutzgebieten gemeinsam bewertet.

Die Flächen im WSG Lobberich sind vorwiegend landwirtschaftlich geprägt. Die Autobahn A 61 durchzieht das Gebiet von West nach Ost. Der Pletschbach liegt dazu fast parallel und etwas nach Norden versetzt. Das WSG Breyell ist ein langgestrecktes Einzugsgebiet, welches sich von Norden angrenzend an die Ortschaften Breyell und Schaag nach Süden hin austreckt. Innerhalb des Gebietes liegt mittig die Ortschaft Boisheim und angrenzend daran ein Forst und der Breyeller See. Das WSG Kaldenkirchen liegt leicht nordwestlich dazu und grenzt mit einem größeren Forststück an die niederländische Grenze. Nördlich des Gebietes liegt die Ortschaft Kaldenkirchen. Die Gebiete werden auf den Karten in den Anhängen 10.2.5 und 10.2.6 dargestellt.

Zuerst wurde im WSG Kaldenkirchen-Grenzwald im Jahr 1995 eine Kooperation zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Gartenbau gegründet. Ende 1996 wurde dies ebenfalls für die WSG Lobberich und Breyell getan. Diese Kooperationen wurden im Jahr 2006 zusammengelegt und firmieren jetzt unter dem Namen „Kooperation für Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Gartenbau Nettetal“.

Nach Angaben des Beraters lag der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche, die Teil der Kooperation ist, im Jahre 2017 bei 93%. Dieser Wert ist in den letzten Jahren gestiegen (2014 lag er noch bei ca. 85%). Nach Einschätzung des Beraters kann der Anteil allerdings höchstens bis 95% steigen, da die restlichen Flächen Landwirten gehören, die vor ca. 15 Jahren mit den Stadtwerken in Konflikt gerieten. Dort erscheint eine Zusammenarbeit weiterhin als nicht möglich.

In der gesamten Kooperation Nettetal wird ein Prämienmodell umgesetzt. Das heißt, dass eine Ausgleichszahlung nicht für die Umsetzung einer festgelegten Maßnahme (z. B. Zwischenfruchtanbau) stattfindet, sondern dass die Landwirte bei Unterschreitung von festgelegten Herbst-N_{min}-Grenzwerten Prämien erhalten, wenn dabei gewisse Auflagen eingehalten werden (s. unten). Die Landwirte entscheiden eigenverantwortlich, in vielen Fällen in Zusammenarbeit mit dem zuständigen Kooperationsberater, wie sie auf ihren Flächen wirtschaften. Hierdurch können ihre Herbst-N_{min}-Werte verringert und auch auf niedrigem Niveau gehalten werden trotz der immer intensiveren Landbewirtschaftung. Aus den Jahren 2014 bis 2017 liegen für ca. 1.000 landwirtschaftliche Flächen Herbst-N_{min}-Werte vor. Zusätzlich zu den Prämien findet wie in jeder Kooperation eine Wasserschutzberatung statt.

In Abbildung 72 wird die Fruchtartenverteilung für die drei WSG der Kooperation Nettetal im Zeitraum 2014 bis 2017 dargestellt. In roten Farben werden potenzielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr dargestellt: Mais, Kartoffeln und Gemüse. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen. Alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst. Aufgrund der zu der Zeit noch gültigen InVeKoS-Systematik wurden 2014 die Wintergetreidearten in der Kategorie „Getreide“ zusammengefasst, ab dem Jahr 2015 wird nach Getreidearten unterschieden. Die Daten für Getreideflächen im Jahr 2014 konnten somit nicht den einzelnen Arten (Winterweizen, etc.) zugeordnet werden.

Der Anteil an Problemkulturen in der Kooperation ist mit fast 50% ziemlich hoch: Im betrachteten Zeitraum schwankt er zwischen 41% und 47% und hat einen Durchschnitt von 45%. Der Anteil an Mais in der Kooperation ist mit durchschnittlich 17% nicht unüblich hoch. Der Flächenanteil von Kartoffeln ist im NRW-weiten Vergleich mit durchschnittlich 15% relativ hoch – für die WSG im Kreis Viersen ist dies jedoch ein üblicher Wert. Der Anteil an Gemüse dagegen ist mit durchschnittlich 14% recht hoch, der unter den untersuchten Gebieten nur noch vom benachbarten WSG Lüttelbracht übertroffen wird. Obwohl dieser Wert hoch ist, darf man davon ausgehen, dass der tatsächliche Gemüseanbau in den Flächen der Kooperation weitaus höher liegt, da in diesen WSG nach früh räumenden Kulturen (wie Gemüse, Wintergerste, Frühkartoffeln und Ackergras) oftmals als Folgekultur eine Gemüseart noch im gleichen Jahr angebaut wird (z. B. Winterporree), die in den der Kooperationsarbeit zugrundeliegenden ELAN-Daten nicht aufgenommen wird. Laut Informationen der Landwirtschaftskammer ist es die örtliche Nähe zu einem Gemüsegroßhändler, die den hohen Gemüseanteil an der landwirtschaftlichen Fläche in diesen Gebieten verursacht.

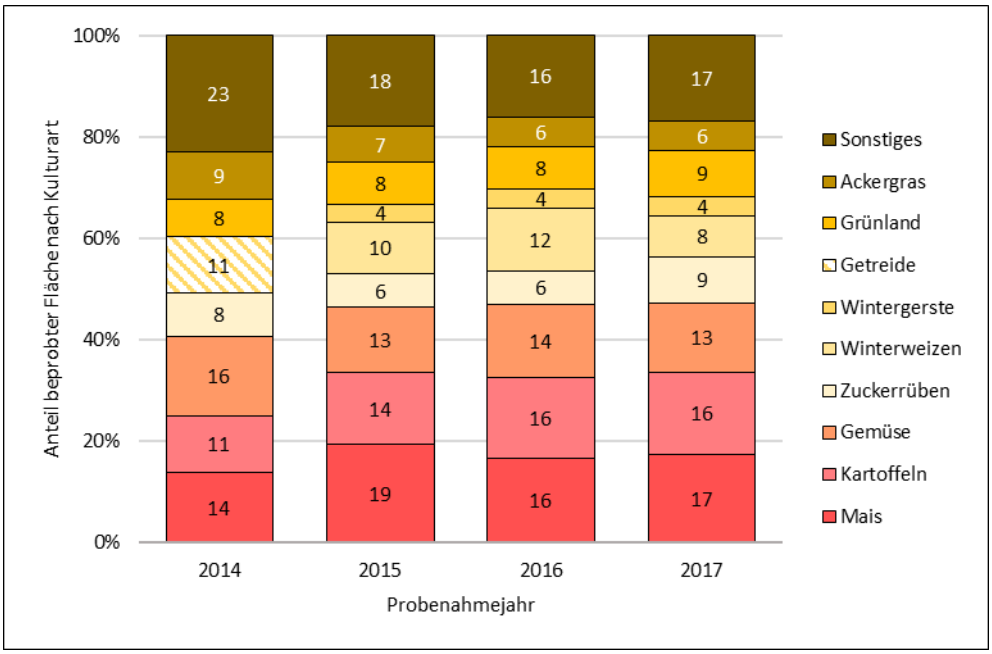


Abbildung 72: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – Kooperation Nettetal (Zeitraum 2014 - 2017)

Der Ackergras- und Grünlandanteil, zwei Kulturen, die i.d.R. geringe Herbst-N_{min}-Werte aufweisen und somit bis zu einem gewissen Grad einen hohen Problemkulturenanteil ausgleichen können, liegt bei insgesamt ca. 15% und somit eher im niedrigeren Bereich. Der Wintergetreideanteil ist mit durchschnittlich 12% eher gering, der von Zuckerrüben mit ca. 8% hingegen für die Region im üblichen Bereich. Die Flächen der Kooperation Nettetal zeichnen sich durch einen sehr hohen Anteil an Flächen unter „Sonstiges“ aus, mit durchschnittlich 17%. Von dieser Fläche machen Spargelanbau und Baumschulen ca. 80% aus.

Die Intensität der Landwirtschaft in der Kooperation Nettetal kann man als im Vergleich sehr hoch einstufen. Zum durchschnittlichen Anteil an Problemkulturen von fast 50% (mit Unterschätzung des Gemüseanteils) kommen beträchtliche GVE/ha-Zahlen laut Agrarstatistik NRW (2010) in den Gemeinden Nettetal, Viersen und Brüggen hinzu (zwischen 1,2 GVE/ha und 1,9 GVE/ha im Durchschnitt der landwirtschaftlichen Fläche). Dazu kommen die im Kreis Viersen sehr hohen Gülleimporte aus den Niederlanden. Die Daten des Nährstoffberichts 2013 ergeben einen durchschnittlichen Gülleimport für den Landkreis von 46,5 kg N/ha, mit einem nur unwesentlich geringeren Wert von 43,7 kg N/ha für den Zeitraum 2014-2016 (Nährstoffbericht 2016). Nach Angaben des Beraters werden oft die auf den Flächen aufgebrachten Champost- und Kompostmengen nicht registriert.

Diese landwirtschaftliche Intensität schlägt sich in den im Rahmen des GROWA+ NRW2021-Projekts modellierten N-Bilanzüberschüssen nieder. Das WSG Kaldenkirchen liegt anteilig in den Gemeinden

Brüggen und Nettetal, deren modellierten N-Bilanzüberschüsse zur höchsten („größer als 60 kg N“) und zweithöchsten Klasse („50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017) gehören. Für die Gemeinden Nettetal und Viersen, in denen sich die WSG Breyell und Lobberich anteilig befinden, liegen die modellierten N-Bilanzüberschüsse in der zweithöchsten Klasse (Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017).

Insgesamt lassen sich aus den Daten zur Fruchtartenverteilung (Abbildung 72) und zu Gülleimporten keine Entwicklungen über den betrachteten Zeitraum bzgl. der Intensität der Landwirtschaft in der Kooperation Nettetal ableiten. Die Intensität der Landwirtschaft scheint sich also im betrachteten Zeitraum nicht wesentlich geändert zu haben, sie bleibt konstant auf dem oben erwähnten, sehr hohen Niveau.

7.1.5.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Die Kooperationsarbeit in den drei WSG der Kooperation Nettetal begann in den Jahren 1995 und 1996. In den ersten Jahren dieser Kooperationsarbeit wurden zusätzlich zur kostenlosen Gewässerschutzberatung Ausgleichszahlungen nach umgesetzter Maßnahme gefördert. Im Jahr 2008 wurde auf ein Prämienmodell umgestellt, das ab 2009 vollumfänglich (d.h. ohne Förderung weiterer Flächenmaßnahmen) gilt.

Der jetzige Gewässerschutzberater arbeitet seit Ende 2013 in der Kooperation. Unterlagen für den Zeitraum vor seiner Einstellung waren nicht zu erhalten, wodurch diese Analyse sich auf Daten für den Zeitraum 2014 – 2017 beschränken musste.

Wie bereits erwähnt, ist in den drei WSG der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche, der an der Kooperation teilnimmt, zwischen den Jahren 2014 und 2017 von 85 auf 93% angestiegen. Im gesamten Kooperationsgebiet gibt es einen identischen Kooperationsansatz (der den Ansätzen in den WSG Lüttelbracht und Dülken-Boisheim stark ähnelt). Es gibt keine Unterteilung in Zonen mit unterschiedlichen Formen der Kooperationsarbeit.

Fördermodalität im Prämiengebiet

Als Flächenmaßnahme zählt in der Kooperation lediglich die Auszahlung von Prämien bei Unterschreitung von festgelegten Herbst-N_{min}-Grenzwerten. Bei fast allen Kulturen erhalten Kooperationslandwirte bei Unterschreitung von 60 kg N/ha eine Prämie von 80 €/ha, und bei einem Wert zwischen 60 – 80 kg N/ha 25 €/ha. Wenn keins dieser Grenzwerte eingehalten wird erhält der Landwirt immer noch 5 €/ha für die Teilnahme an der Kooperation. Höhere Prämien werden für die Gemüsesorten Porree, Chinakohl, Blumenkohl, Brokkoli (200 €/ha bzw. 100 €/ha), wie auch für Kartoffeln und alle weitere Gemüsesorten (150 €/ha bzw. 75 €/ha) ausgezahlt.

Liegt die Summe der Niederschläge in Dülken im September und Oktober insgesamt bei mehr als 170 mm, so werden die Herbst-N_{min}-Grenzwerte um jeweils 30% reduziert, da von einer bereits stattgefundenen Verlagerung von Nitrat in den Unterboden ausgegangen wird.

Mit der Auszahlung einer Prämie sind zusätzlich folgende Auflagen verbunden:

- Verpflichtung pflanzenbedarfsgerechter Nährstoffversorgung nach N_{min}-Methode oder N-Bilanzierung.
- Winterbegrünung (nach Ernte ohne Bodenbearbeitung, wie z. B. bei Mais, gibt es keine Begrünungspflicht).
- Keine Bodenbearbeitung zwischen dem 15. Oktober und 15. Januar, außer zur Herbstbestellung.
- Keine Ausbringung von Klärschlamm.
- Ausbringung von Gülle, Jauche, Gärsubstrate, Hühnerkot und Hähnchenmist nur bis zum 31. August. Ausnahmen gelten für Ackergras und Grünland.
- Meldepflicht für Wirtschaftsdüngerimport.

- Vorlage einer Feld-Stall-Bilanz und Schlagkartei je Kultur beim Berater wie auch eine Auflistung der eingesetzten Pflanzenschutzmittel.
- Sonderauflagen bei gewissen Kulturen (Kartoffeln, Gemüse, Wintergetreide).
- Bei mindestens 30% der Flächen für Gemüseanbau muss die Stickstoffdüngung auf Grundlage der N_{min}-Messmethode zum Start- und Kopfdüngungszeitpunkt erfolgen.

Für die Mitglieder der Kooperation gilt darüber hinaus eine eingeschränkte Nutzung von PSM:

(1) PSM die im Grundwasser bereits eine Konzentration von > 0,1 µg/l überschreiten, dürfen nicht verwendet werden;

(2) Verzicht auf den Einsatz von bentazonhaltiger PSM. Dadurch entstehende Mehrkosten trägt der Wasserversorger.

Darüber hinaus werden weitere Nitrat- oder PSM-bezogene Maßnahmen gefördert, unter anderem die Übernahme der Probenahmekosten beliebig vieler N_{min}-Untersuchungen (die Analysekosten trägt der Landwirt), Investitionshilfen für die Schaffung von Güllelagerraum, die Anschaffung von Stickstoffmessgeräten, der Einsatz von Didin für Mais und Zuckerrüben bei frühen Ausbringungsterminen sowie eine verstärkte Anwendung von mechanischer Unkrautbekämpfung. Abwechselnd werden jeweils im dreijährigen Rhythmus die Sammlung und Entsorgung alter Pflanzenschutzmittel gefördert, Düngerstreuer-Tests durchgeführt und aktuelle Technik wie z. B. Gülletests mit Nahinfrarotspektroskopie (NIRS-Sensor) vorgeführt. Somit gibt es jedes Jahr eine dieser drei Aktivitäten, die „Kooperationsaktion“ genannt und zu 100% vom Wasserversorger finanziert werden.

Ebenso übernimmt die Kooperation Kosten für Versuche und begleitende N_{min}-Untersuchungen, wie z. B. für grundwasserschonenderen Porreeanbau.

7.1.5.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit in der Kooperation Nettetal

In der Abbildung 85 werden die jährlichen Durchschnittswerte (flächengewichtet) für die Kooperation Nettetal für den Zeitraum 2014 bis 2017 dargestellt.

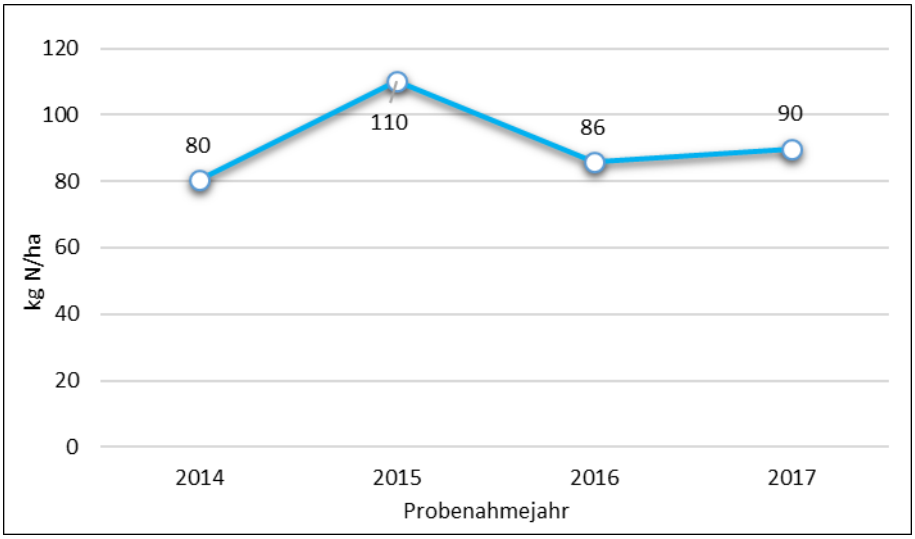


Abbildung 73: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Kooperation Nettetal

Die jährlichen flächengewichteten Durchschnittswerte sind mit 80 bis 110 kg N/ha (Durchschnitt = 91,5 kg N/ha) sehr hoch. Ein Grund dafür sind sicherlich die hohen Anteile für Gemüse und Kartoffel im Anbau-Mix (vgl. Abbildung 72) und die sehr hohen Durchschnittswerte für diese Kulturen im Gebiet (vgl. Abbildung 74). Wie auch in den benachbarten Gebieten Lüttelbracht und Dülken-Boisheim ist für das Jahr 2015 ein Anstieg der Kurve sichtbar. Die Tatsache, dass dieser Anstieg in mehreren benachbarten Wasserschutzgebieten zu beobachten ist, bestärkt die Vermutung, dass dies meteorologische Gründe hat. In diesem Fall ist der hohe Wert im Jahr 2015 vermutlich dem relativ trockenen Sommer geschuldet.

In der Abbildung 74 sind die Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte in Abhängigkeit von der Vorfrucht für den Zeitraum 2014 - 2017 abgebildet. In der Grafik ist zu sehen, dass bei fast allen Vorkulturen sehr hohe Herbst-N_{min}-Werte erreicht wurden.

Bei Ackergras wirken sich nach Angaben des Beraters eine späte Herbstdüngung und die nach Ackergras üblichen Folgekulturen im WSG negativ auf die Herbst-N_{min}-Werte aus. Auch die hohen Werte für Grünland würden mit einer einigermaßen verbreiteten späten Herbstdüngung aufgrund nicht ausreichender Lagerkapazität im Gebiet zusammenhängen.

Insbesondere die Werte für Kartoffeln und Gemüse sind mit über 120 kg N/ha sehr hoch. Auch die in der Kooperation wichtige Kultur Mais weist mit einem Durchschnittswert von 91 kg N/ha einen sehr hohen Wert auf. Die hohen Werte für Mais und Kartoffeln können zum Teil durch das Nacherntemanagement bedingt sein. Laut Berater gibt es einen hohen Anteil an Spätkartoffeln im Gebiet. Bei den im Gebiet angebauten Frühkartoffeln kommt es auch oftmals vor, dass Gemüse als Zweitfrucht angebaut wird. Aufgrund dessen sind die teilweise sehr hohen Werte auf einigen Kartoffelschlägen zumindest anteilig auch dem Gemüseanbau geschuldet. Die Werte für die Kulturen Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen sind dagegen recht gut, für diese Kulturen ergab die Schätzung auch deutliche Minderungswirkungen (s. unten).

Für die vier Kulturen Grünland, Ackergras, Mais und Kartoffeln wie auch für die Kulturgruppe Gemüse sind diese Werte die höchsten in dieser Studie ermittelten Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte nach Kulturen. Diese ungewöhnlich intensive Belastungssituation spiegelt die sehr hohe landwirtschaftliche Intensität und den akuten „Gülledruck“ in der Region wider. Hier könnte auch die Nähe dieser WSG zur niederländischen Grenze, die einen Gülleimport begünstigt, eine Rolle spielen.

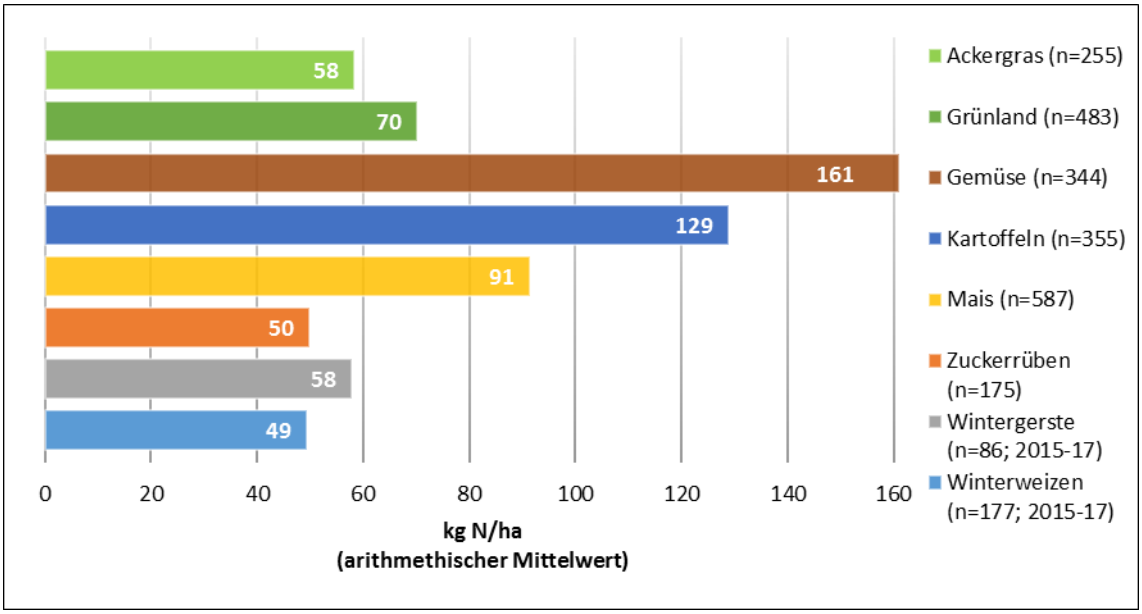


Abbildung 74: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - Kooperation Nettetal

Bei der Höhe der Werte kann für manche Flächen vermutet werden, dass Wirtschaftsdünger nicht effizient genug eingesetzt wird bzw. auf einigen Flächen überschüssiger Dünger mehr oder minder „entsorgt“ wird, ggf. aufgrund fehlender Lagerkapazität. Insbesondere die hohen Werte für Ackergras- und Grünlandflächen zeugen von der Möglichkeit einer effizienteren N-Düngung. Abbildung 75 zeigt die Verteilung der Herbst-N_{min}-Werte für Grünlandflächen in Klassen, einmal für die Grünlandflächen der Kooperation Nettetal und einmal für Grünlandflächen des WSGs Flüren-Diersfordt-Blumenkamp, ein nördlich im Kreis Kleve gelegenes rechtsrheinisches WSG mit weniger hohen Gülleimporten und einer generell geringeren Belastungssituation.

Betrachtet man die Höhe der Herbst-N_{min}-Werte und nachfolgende Kulturen, lassen sich auch in der Kooperation Nettetal zum Teil typische Zusammenhänge beobachten. So liegt z. B. der durchschnitt-

liche Herbst-N_{min}-Wert bei Winterweizen mit nachfolgender Sommerung mit 26 kg N/ha im Durchschnitt 50 kg unter den Werten für Winterweizen mit Folgefrucht Wintergetreide (Durchschnitt = 76 kg N/ha). Unter der Annahme einer Winterbegrünung mit Zwischenfrucht vor der Sommerung (wie in den Kooperationsauflagen festgelegt) ist an dieser Stelle der Effekt einer typischerweise wesentlich höheren Stickstoffaufnahme der Zwischenfrucht im Vergleich zum Wintergetreide zu erkennen, wie ggf. auch der Effekt einer weniger intensiven Bodenbearbeitung bei der Bestellung der Zwischenfrucht.

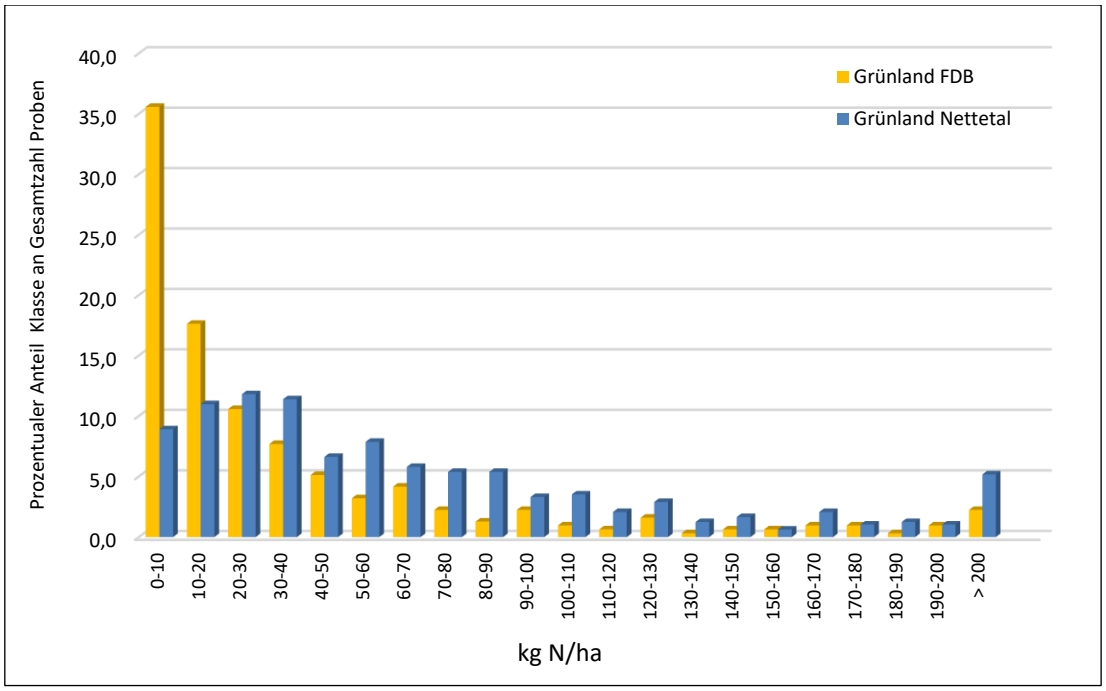


Abbildung 75: Vergleich der Häufigkeitsverteilung von Herbst-N_{min}-Werten für Grünland – WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp und Kooperation Nettetal

Abbildung 76 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit den Flächen der Kooperation Nettetal, nach Kultur.[22]

Auch wenn die Durchschnittswerte pro Kultur in Abbildung 74 vergleichsweise sehr hoch liegen, zeigt Abbildung 76, dass die Schätzung der Maßnahmenwirkung „Prämienforderung“ für die Sommerungen Mais und Zuckerrüben positiv ausfällt (wenn auch in geringem Maße), und dass diese Schätzung für die Winterungen Gerste und Weizen eine Wirkung von ca. 50 kg N/ha ergibt. Dies liegt unter anderem auch an der Nutzung der Mediane für diese Bestimmung, die den Einfluss von Ausreißerwerten auf die Wirkungsschätzung begrenzt (s. auch Diskussion unten). Keine Minderungswirkungen der Flächenmaßname „Prämienförderung“ wurden dagegen für Ackergras, Grünland und Kartoffeln ermittelt. Für die Kulturen, die unter „Gemüse“ subsumiert werden, besteht kein Kontrastwert.

Wie auch in ein paar wenigen anderen Gebieten finden sich in Nettetal bei einigen Kulturen große Unterschiede zwischen den Mittelwerten und den Medianen. Dies ist z. B. bei Wintergerste der Fall. Die recht unregelmäßige Verteilung der Werte für Gerste über die unterschiedlichen Klassen in Abbildung 77 deutet auf den oben erwähnten Effekt von Gemüseanbau nach Gersteernte. Auch für Kartoffeln zeigt die Verteilung in Abbildung 77 über die Klassen keine übliche Struktur: Insbesondere der fast 20% hohe Anteil an Werten von über 200 kg N/ha springt hier ins Auge. Auch dieser Effekt hängt vermutlich mit dem Anbau von Gemüse nach der Ernte von Frühkartoffeln zusammen.

[22] Um den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden, fließen in diese Grafik die Daten der letzten 4 Jahre mit ein. Die verglichenen Werte sind aus methodischen Gründen keine Mittelwerte, sondern Mediane und fallen dadurch niedriger aus als in der Abbildung mit Herbst-Nmin-Durchschnittswert nach Kultur. Die Herkunft und Ableitung der Kontrastwerte werden in Kapitel 6.1 zusammengefasst.

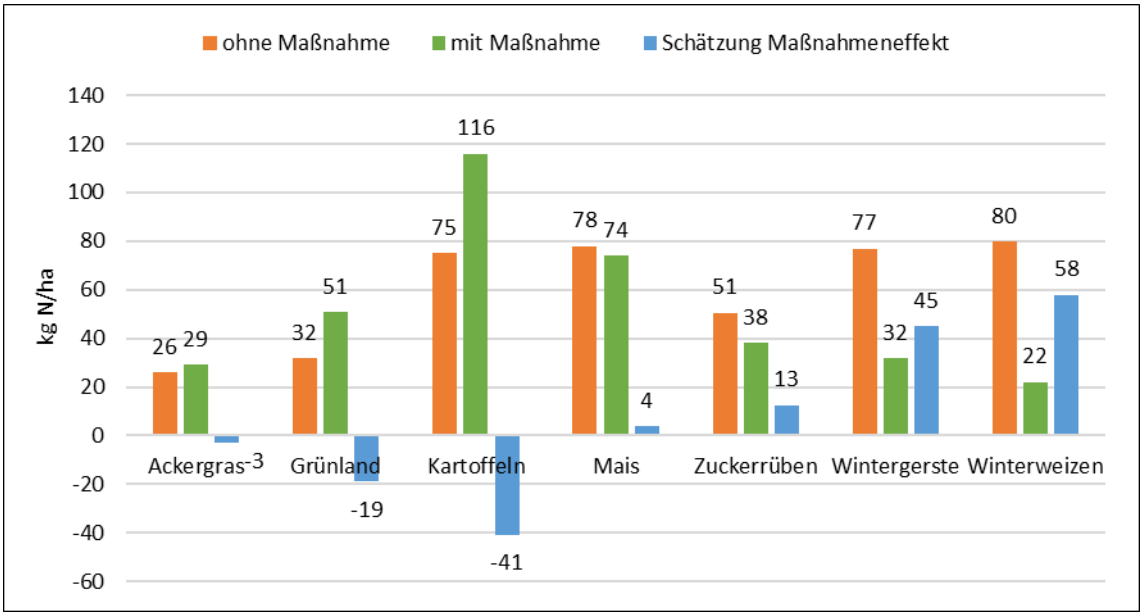


Abbildung 76: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienförderung“ in der Kooperation Nettetal (Vergleich Mediane ausgewählter Kulturen - Zeitraum 2014 - 2017)

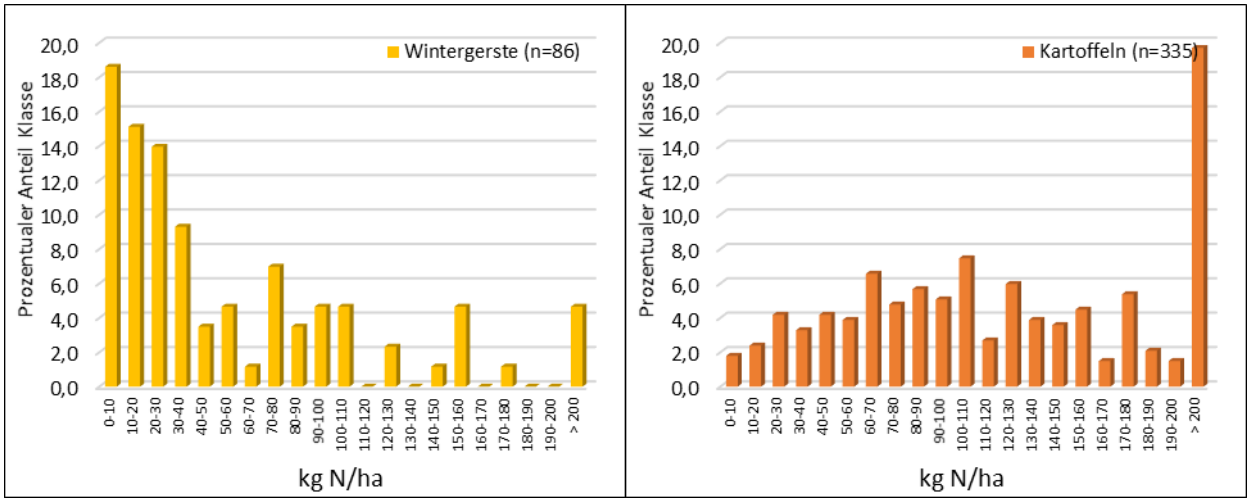


Abbildung 77: Häufigkeitsverteilung der Herbst-N_{min}-Werte nach Wintergerste und Kartoffeln in der Kooperation Nettetal

Auch wenn die Mediane eine bessere Einschätzung der üblichen Werte und damit der Maßnahmenwirkung ermöglichen, wird die Grundbelastung in den WSG auch von den Ausreißerwerten geprägt: Der Mittelwert für die Kulturen reflektiert diese Grundbelastung besser und zeigt ggf. Schwächen des Prämienmodells an dieser Stelle. Der große Unterschied zwischen Medianen und Mittelwerten könnte darauf zurückzuführen sein, dass es für den Landwirt nicht von Bedeutung ist, ob der Herbst-N_{min}-Wert einer seiner Flächen leicht oder sehr stark über dem Grenzwert der Prämien liegt. So könnte es sein, dass sobald der Landwirt glaubt, er könne den Wert auf einem bestimmten Schlag nicht erreichen, ein weiterer Anreiz grundwasserschonend zu wirtschaften fehlt. Die Staffelung der Prämienhöhe, die gerade diesen Effekt zu unterbinden versucht, scheint sich gegen weitere finanzielle Anreize an dieser Stelle nicht durchzusetzen.

7.1.5.4 Zusammenfassende Auswertung

In der Kooperation Nettetal sind die Durchschnittswerte für Herbst-Nmin sehr hoch: Der flächengewichtete Mittelwert des Zeitraums 2014-2017 liegt bei 91,5 kg N/ha. Dies ist neben den hohen Durchschnittswerten fast aller Kulturen auch dem großen Anteil an Gemüse und Kartoffeln im Anbau-Mix

geschuldet. Eine starke Auswirkung auf die hohen Werte könnten die hohen Wirtschaftsdüngerimporte aus den Niederlanden in den Landkreis entfalten.

Generell sind die Rahmenbedingungen für geringe Herbst-N_{min}-Werte in den WSG der Kooperation Nettetal sehr ungünstig. Zum hohen Anteil an Problemkulturen (der dazu höchstwahrscheinlich unterschätzt wird, da der im Kooperationsgebiet übliche Gemüseanbau als Zweitfrucht nach frühräumenden Kulturen nicht aufgenommen wird) kommen relativ hohe GVE/ha-Zahlen in der Region und die Nähe zur niederländischen Grenze, die in den vergangenen Jahren zu sehr hohen Gülleimporten im Landkreis führte.

Trotz alledem lassen sich deutliche Erfolge in der Kooperationsarbeit feststellen. Zum einen ist es als bedeutender Erfolg zu betrachten (auch wenn sich dieser wohl kaum in den erreichten Herbst-N_{min}-Werten niederschlagen dürfte), dass eine Ausweitung der Kooperationsfläche von ca. 85% auf ca. 93% der landwirtschaftlichen Fläche zwischen den Jahren 2014 und 2017 stattfand. Diese spiegelt sich auch in einer Ausweitung der beprobten Fläche von 1630 ha (2014) auf 2075 ha (2017) wider. Ein hoher Anteil der landwirtschaftlichen Fläche an der Kooperation ist eine Grundbedingung für den erfolgreichen Wasserschutz.

Zudem ergibt die Schätzung der Maßnahmenwirkung „Prämienförderung“ bei den Kulturen Wintergerste, Winterweizen, Mais und Zuckerrüben trotz der sehr ungünstigen Rahmenbedingungen in der Region positive Werte. Bei Ackergras, Grünland und Kartoffeln sind die Herbst-N_{min}-Werte des Gebietes schlechter als die Kontrastwerte. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Kontrastwerte für alle Kooperationen gleich sind, und keine Unterschiede in der landwirtschaftlichen Intensität abbilden kann. Es ist durchaus möglich, dass eine Messung der Herbst-N_{min}-Werte in Flächen der Region, die nicht Teil einer Gewässerschutzkooperation sind, zu deutlich höheren Werten für diese Kulturen führen würde.

Die Prämien in der Kooperation Nettetal sind im Vergleich mit anderen Gebieten eher im niedrigen Bereich, wodurch bei einigen Landwirten in bestimmten Jahren (je nach angebauter Kultur) möglicherweise die Motivation fehlt, diese auch zu erreichen. Im Vergleich zu den meisten anderen Gebieten sind die Herbst-N_{min}-Grenzwerte für die Prämien mit 60 bzw. 80 kg N/ha relativ hoch. Bei den Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben und Wintergetreide wird in den mehrheitlichen Fällen diese Grenze von 60 kg N/ha unterschritten und die volle Prämie ausgezahlt. Bei Mais liegt ein Großteil der Werte unter der oberen Grenze von 80 kg N/ha, wodurch auch hier meistens ein Teil der Prämie ausgezahlt werden kann. Anders ist dies bei Kartoffeln, deren Werte nicht nur im Schnitt über den Grenzwerten, sondern sogar in ca. 20% der Fälle über 200 kg N/ha liegen.

Zusammenfassend kann trotz sehr ungünstiger Rahmenbedingungen von einer Maßnahmenwirkung der Prämienförderung ausgegangen werden. Die im Vergleich eher geringen finanziellen Prämien scheinen mit den weiteren finanziellen Anreizen (Gemüseanbau als Zweitfrucht nach Ernte der Hauptfrucht, Zahlungen für Wirtschaftsdüngerimporte) nicht mithalten zu können.

7.1.6 Lüttelbracht

7.1.6.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Lüttelbracht liegt im Niederrhein im Kreis Viersen, etwa 5 km südwestlich der Stadt Viersen. Es erstreckt sich von Lüttelbracht im Nordwesten, in dessen Umkreis die Brunnen installiert sind, bis St. Anton im Südosten der WSZ IIIb. Das WSG hat eine Gesamtgröße von 10,14 km^2, davon sind 683 ha landwirtschaftliche Flächen. Mit weniger als 5 Kilometer Entfernung liegt es sehr nah an der niederländischen Grenze. Das Gebiet besteht vorwiegend aus landwirtschaftlichen Flächen gemischt mit Forst- und Siedlungsflächen. Der Heidweiher Bach und der Pferdeweiher (ein Teich) liegen in der WSZ IIIb, im südöstlichen Bereich des WSG Lüttelbracht. Die Karte im Anhang 10.2.7 zeigt das Wasserschutzgebiet, mitsamt Produktionsbrunnen und Wasserschutzzonen.

Die Kooperationsarbeit zwischen den Landwirten und Gärtnern im WSG Lüttelbracht und der Gemeindewerke Brüggen GmbH besteht seit 1997. Der Arbeitskreis führt den Namen „Kooperation Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Gartenbau Lüttelbracht“. Nach Angaben des Beraters sind 674 der 683 ha landwirtschaftliche Flächen Teil der Kooperation, die Kooperation hat also mit über 98% einen sehr hohen Abdeckungsgrad.

Im gesamten WSG wird ein Prämienmodell umgesetzt. Das heißt, dass Landwirte keine Ausgleichszahlung für die Umsetzung einzelner Maßnahmen erhalten, sondern, dass sie bei Unterschreitung von festgelegten Herbst-N_{min}-Grenzwerten Prämien erhalten, wenn dabei gewisse Auflagen eingehalten werden (s. unten). In diesen Modellen, in denen auch immer Gewässerschutzberatung stattfindet, wird die Verantwortung für die Maßnahmengestaltung zur Erreichung des Grenzwertes auf den einzelnen Landwirt unter Berücksichtigung seiner unternehmerischen Fähigkeiten und Bewirtschaftung übertragen. Jede am Prämienmodell teilnehmende Fläche wird im Herbst auf ihren Rest-N_{min}-Gehalt beprobt, eine mögliche Auszahlung erfolgt auf Grundlage des Laborergebnisses.

Dem Gutachter liegen die Herbst-N_{min}-Werte für ca. 300 landwirtschaftliche Flächen aus den Jahren 2014 bis 2017 vor. Sie bilden die Grundlage für die untenstehende Analyse.

In Abbildung 78 wird die Fruchtartenverteilung der beprobten Flächen im Zeitraum 2014 bis 2017 dargestellt. In roten Farben werden potentielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr dargestellt: Mais, Kartoffeln und Gemüse. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen. Alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst.

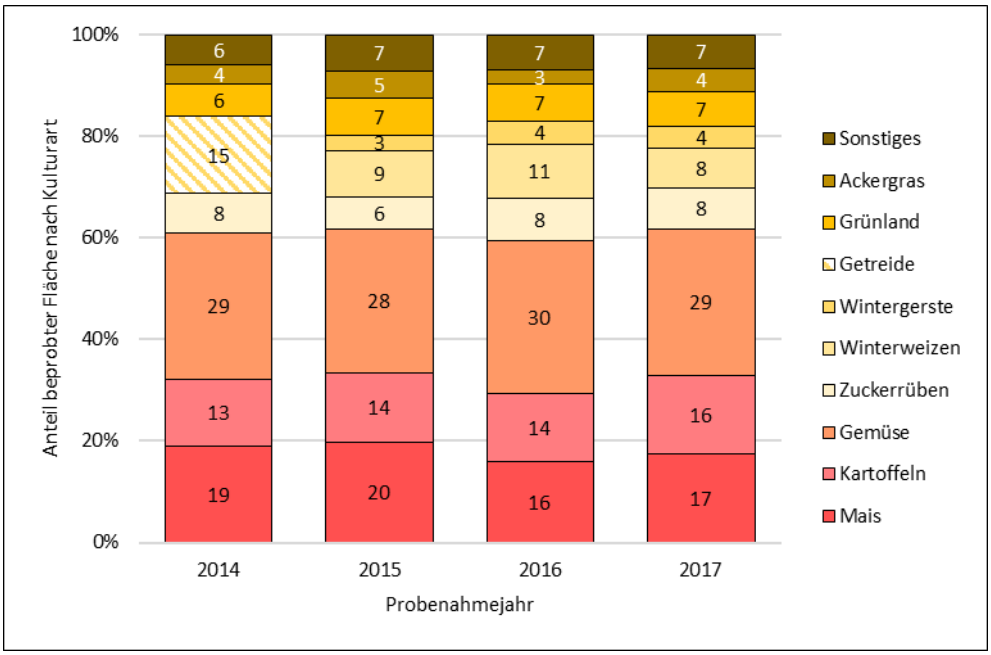


Abbildung 78: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – WSG Lüttelbracht (Zeitraum 2014 - 2017)

Der Anteil an den sogenannten „Problemkulturen“ ist im WSG mit mindestens 60% sehr hoch. Während die durchschnittlichen Werte für den Maisanteil an der WSG-Fläche mit 18% und für den Kartoffelanteil mit 14% relativ üblich sind, ist der Gemüseanteil mit fast 30% extrem hoch. Mit einem durchschnittlichen Wert von 8% für Zuckerrüben wird insgesamt fast 70% der Fläche mit Sommerungen angebaut.

Die Daten für Getreideflächen fürs Jahr 2014 leisten keine Unterscheidung zwischen Getreidesorten, was womöglich mit der bis zum Jahr 2014 fehlenden Unterscheidung in der Kultursystematik der landwirtschaftlichen Datenbank InVeKoS zusammenhängt. Die Daten für Getreideflächen im Jahr 2014 konnten somit nicht den einzelnen Arten (Winterweizen, Wintergerste, etc.) zugeordnet werden. Der Anteil von Getreideflächen im betrachteten Zeitraum erscheint stabil bei Werten um die 13%.

Der extrem hohe Anteil an Sommerungen im WSG spricht in diesem Gebiet nicht für ein vergleichbar hohes Potenzial für den Zwischenfruchtanbau. Nach Wintergetreide und vor einer Sommerung ist sicherlich der Zwischenfruchtanbau rein terminlich gesehen möglich. Allerdings sind die Kulturübergänge im Gebiet aufgrund des sehr hohen Anteils an Sommerungen sehr häufig von Sommerung auf Sommerung: Von den zehn häufigsten Kulturübergängen im Datensatz gibt es nur einen (an 7. Stelle)

mit Wintergetreide. Dies bedeutet, dass der Zwischenfruchtanbau vor einer Sommerung nur bei einer entsprechend frühen Ernte der Sommerung davor stattfinden kann. Dies wird von den Gemüsesorten und von den jeweiligen Ernteterminen für Kartoffeln, Zuckerrüben und Mais (fast zu 100% Silomais im WSG, mit einem früheren Erntetermin als Körnermais) abhängen.

Der Ackergras- und Grünlandanteil, zwei Kulturen, die i.d.R. geringe Herbst-N_{min}-Werte aufweisen und somit bis zu einem gewissen Grad einen hohen Problemkulturenanteil ausgleichen können, ist im Gebiet mit insgesamt ca. 10% eher niedrig.

Die Intensität der Landwirtschaft in der Kooperation Lüttelbracht ist im Vergleich zu den weiteren untersuchten Gebieten extrem hoch; hohe Pachtpreise, bewässerungsfähige Böden und die Befahrbarkeit der leichten Böden fördern einen intensiven Anbau. Zum einen ist wie oben besprochen der durchschnittliche Anteil an Problemkulturen mit mindestens 60% sehr hoch. Die Viehbesatzzahlen (GVE/ha) laut Agrarstatistik NRW (2010) für die Gemeinden Brüggen und Schwalmtal sind mit 1,2 bzw. 1,5 GVE/ha im Durchschnitt der landwirtschaftlichen Fläche im mittleren Bereich. Darüber hinaus gibt es im Kreis Viersen sehr hohe Gülleimporte aus den Niederlanden. Die Daten des Nährstoffberichts 2013 ergeben einen durchschnittlichen Gülleimport für den Landkreis von 46,5 kg N/ha, mit einem nur unwesentlich geringeren Wert von 43,7 kg N/ha für den Zeitraum 2014-2016 (LWK NRW 2017). Nach Angaben des Beraters, werden oft die auf den Flächen aufgebrachten Champost- und Kompostmengen nicht registriert.

Diese sehr hohe landwirtschaftliche Intensität schlägt sich in den im Rahmen des GROWA+ NRW2021-Projekts modellierten N-Bilanzüberschüssen im Jahr 2015-16 für die Gemeinden Schwalmtal und Brüggen nieder, zu denen das WSG Lüttelbracht anteilig gehört. Für die Gemeinde Brüggen liegen sie in der höchsten Klasse (Kategorie „größer als 60 kg N“), für die Gemeinde Schwalmtal in der zweithöchsten (Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017).

7.1.6.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Die Kooperation besteht seit 1997. Wie bereits erwähnt, liegt der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche im WSG, die an der Kooperation teilnimmt, seit 2013 konstant bei ca. 98%. Der aktuelle Berater ist seit Ende 2013 tätig und konnte den Gutachtern leider keine Informationen über die Zeit davor geben. Im gesamten Kooperationsgebiet gibt es keine Unterteilung in Zonen mit unterschiedlichen Formen der Kooperationsarbeit: Beratung und Förderung nach Prämienmodell sind in der gesamten Kooperation gleich.

Fördermodalität im Prämiengebiet

Als Flächenmaßnahme zählt in der Kooperation lediglich die Auszahlung von Prämien bei Unterschreitung von festgelegten Herbst-N_{min}-Grenzen. Alle Flächen von Kooperationslandwirten im WSG erhalten bei Unterschreitung von 60 kg N/ha eine Prämie von 80 €/ha, bei einem Wert zwischen 60 – 80 kg N/ha erhält der Landwirt 25 €/ha. Wenn keiner dieser beiden Grenzwerte eingehalten wird, erhält der Landwirt 5 €/ha für die Teilnahme an der Kooperation. Doppelte Prämien werden bei Unterschreitung derselben Grenzwerte für die Kulturen Gemüse und Kartoffeln ausgezahlt.

Liegt die Summe der Niederschläge in Dülken im September und Oktober insgesamt bei mehr als 170 mm, so werden die Herbst-N_{min}-Grenzwerte um jeweils 30% reduziert, da von einer bereits stattgefundenen Verlagerung von Nitrat in den Unterboden ausgegangen wird.

Mit der Auszahlung einer Prämie sind zusätzlich folgende Auflagen verbunden:

- Verpflichtung pflanzenbedarfsgerechter Nährstoffversorgung nach N_{min}-Methode oder N-Bilanzierung.
- Winterbegrünung (nach Ernte ohne Bodenbearbeitung wie bei Mais keine Begrünungspflicht).
- Keine Bodenbearbeitung zwischen dem 15. Oktober und 15. Januar, außer zur Herbstbestellung.
- Keine Ausbringung von Klärschlamm.
- Einsatz nur von zertifiziertem Champost oder Kompost.

- Ausbringung von Gülle, Jauche, Gärsubstrate, Hühnerkot und Hähnchenmist nur bis zum 31. August. Ausnahmen gelten für Ackergras und Grünland.
- Meldepflicht für Wirtschaftsdüngerimport.
- Vorlage einer Feld-Stall-Bilanz und Schlagkartei je Kultur beim Berater wie auch eine Auflistung der eingesetzten Pflanzenschutzmittel.
- Sonderauflagen bei gewissen Kulturen (Kartoffeln, Gemüse, Wintergetreide).
- Bei mindestens 30% der Flächen für Gemüseanbau muss die Stickstoffdüngung auf Grundlage der N_{min}-Messmethode zum Start- und Kopfdüngungszeitpunkt erfolgen.

Für die Mitglieder der Kooperation gilt darüber hinaus eine eingeschränkte Nutzung von PSM:

(1) PSM, die im Grundwasser bereits eine Konzentration von > 0,1 µg/l überschreiten, dürfen nicht verwendet werden;
(2) Verzicht auf den Einsatz von bentazonhaltiger PSM. Dadurch entstehende Mehrkosten trägt der Wasserversorger.

Über Ausnahmen von den Auflagen entscheidet ein Gremium bestehend aus drei Vertretern aus Landwirtschaft/Gartenbau, drei Vertretern der Gemeindewerke Brüggen GmbH und einem Vertreter der Landwirtschaftskammer NRW.

Darüber hinaus werden weitere spezifische Nitrat- und PSM-bezogene Maßnahmen gefördert, die zu einer effizienteren Düngung bzw. Anwendung von Pflanzenschutzmitteln beitragen. Darunter zählen die Anschaffung von Stickstoffmessgeräten sowie Ammoniumdepot-Düngung und stabilisierten Stickstoffdüngern, Nitrifikationshemmer bei frühzeitiger Düngung von Mais und Zuckerrüben, Erweiterung der Güllelagerkapazität, und verstärkte Anwendung von mechanischer Unkrautbekämpfung. Abwechselnd werden jeweils im dreijährigen Rhythmus die Sammlung und Entsorgung alter Pflanzenschutzmittel gefördert, Düngerstreuer-Tests durchgeführt und aktuelle Technik wie z. B. Gülletest mit Nahinfrarotspektroskopie (NIRS-Sensor) vorgeführt. Somit findet jedes Jahr eine dieser drei Aktivitäten statt, die „Kooperationsaktion“ genannt und zu 100% vom Wasserversorger finanziert werden.

7.1.6.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im WSG Lüttelbracht

In Abbildung 79 werden die jährlichen Durchschnittswerte (flächengewichtet) für das WSG Lüttelbracht dargestellt.

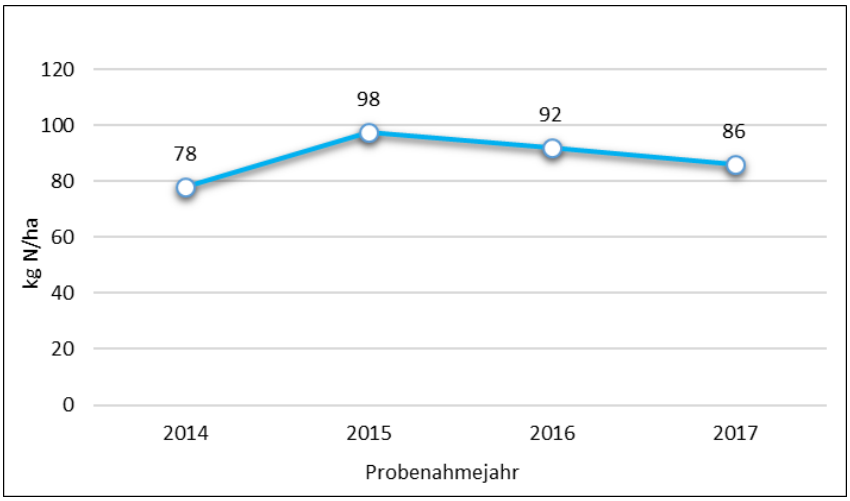


Abbildung 79: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für WSG Lüttelbracht (flächengewichteter Mittelwert, alle Kulturen)

Die jährlichen Durchschnittswerte für das Kooperationsgebiet schwanken zwischen 78 und 98 kg N/ha und liegen im Durchschnitt bei 88 kg N/ha, ein im Vergleich sehr hoher Wert. Zu den Gründen dafür zählen der hohe Gemüse- und Kartoffelanteil im Anbau-Mix (vgl. Abbildung 78). Für Kartoffeln und die Kulturgruppe Gemüse liegen die Durchschnittswerte über 100 kg N/ha (vgl. Abbildung 80). Auch die weiteren bedeutenden Kulturen im Gebiet erreichen im Durchschnitt vergleichsweise hohe Werte, wie aus Abbildung 80 hervorgeht. Wegen des hohen Anteils an Gemüse im Anbau-Mix wurden anders als in den weiteren Gebieten die Gemüsekulturen zusammengefasst in die Grafik aufgenommen.

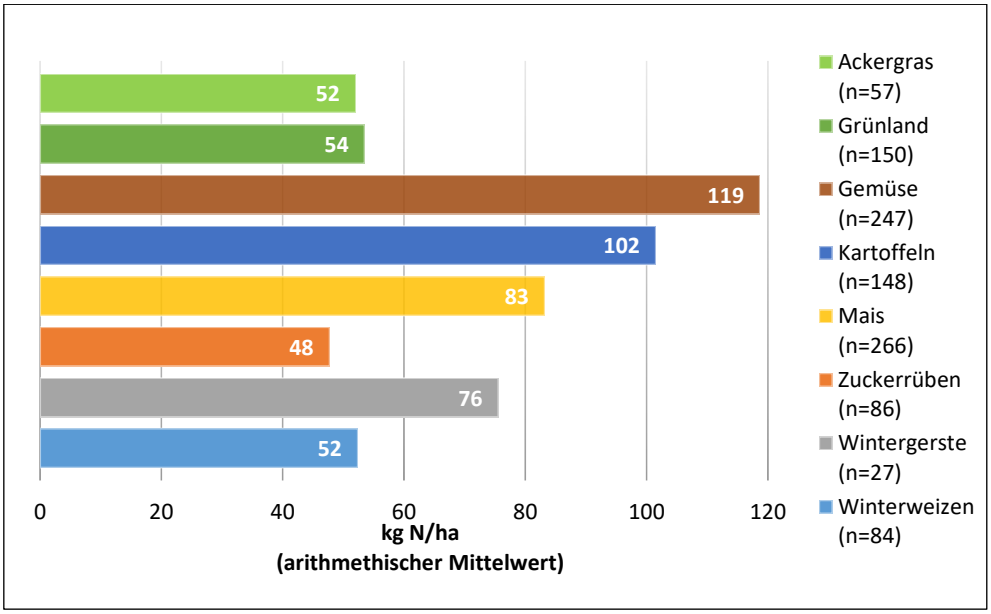


Abbildung 80: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Lüttelbracht (ausgewählter Kulturen - Zeitraum 2014 - 2017)

Die bei fast allen Vorfrüchten hohen Herbst-N_{min}-Werte haben zum Teil unterschiedliche Gründe. So wird z. B. ein großer Anteil der angebauten Zuckerrüben laut Angaben des Beraters für die Biogasproduktion verwendet. Sie erhielten laut Berater eine um ca. 20-30% höhere Düngung als Zuckerrüben, die für eine andere Nutzung angebaut werden, was sich wiederum in erhöhten Herbst-N_{min}-Werten niederschlägt. Bei Ackergras wirkt sich eine späte Herbstdüngung negativ auf die Werte aus, auch die im WSG üblichen Folgekulturen erhöhen die Werte für diese Kultur. Auch bei Grünland fallen nach Angaben des Beraters die Werte höher aus. Grund hierfür ist die im Gebiet verbreitete späte Herbstdüngung als Folge nicht ausreichender Lagerkapazitäten.

Auffällig ist auch der besonders hohe Wert für Wintergerste, der gerade im Vergleich mit dem benachbarten Gebiet Dülken-Boisheim deutlich höher liegt. Dies könnte möglicherweise mit einem Anbau auf einigen Flächen von Gemüse als Zweitfrucht nach der Gersteernte zusammenhängen. Nach Angaben des Beraters wird auf ca. 40% der Fläche mit Anbau von Getreide, Ackergras und Frühkartoffeln noch im selben Jahr Gemüse als Zweitfrucht angebaut. Dieser zusätzliche Gemüseanbau nach Ernte der Hauptfrucht spiegelt sich in den Kooperationsdaten nicht wider, da diese auf EU-Antragsdaten beruhen, die lediglich die Hauptfrucht des Jahres aufnehmen.

Abbildung 82 zeigt die Häufigkeitsverteilungen in Herbst-N_{min}-Klassen für die Kulturen Wintergerste und Winterweizen im WSG Lüttelbracht; Abbildung 83 zeigt als Kontrast dieselben Verteilungen für das benachbarte WSG Dülken-Boisheim. Die ungleiche Streuung der Werte im WSG Lüttelbracht hängt nach Einschätzung des Beraters mit dem Einfluss des Gemüseanbaus als Zweitfrucht zusammen.

Ebenso auffallend hoch wie die Werte für Wintergerste sind die hohen Werte für Mais und Kartoffeln, welche dessen ungeachtet, ähnlich wie in anderen Gebieten (mit einigen Ausnahmen), bei etwa dem doppelten Wert liegen wie die üblichen Kulturen. Bei beiden Kulturen spielt nach Angaben des Beraters das Nachernte-Management eine Rolle bei den erhöhten Werten. Auch die Werte für Kartoffel als

Hauptfrucht des Jahres können von einem Gemüseanbau nach der Ernte von Frühkartoffeln beeinflusst sein. Dadurch wurden zum Teil sehr hohe Werte (>100 kg N/ha) den genannten Kulturen zugeordnet, obgleich dies zumindest anteilig dem Anbau des Gemüses geschuldet ist.

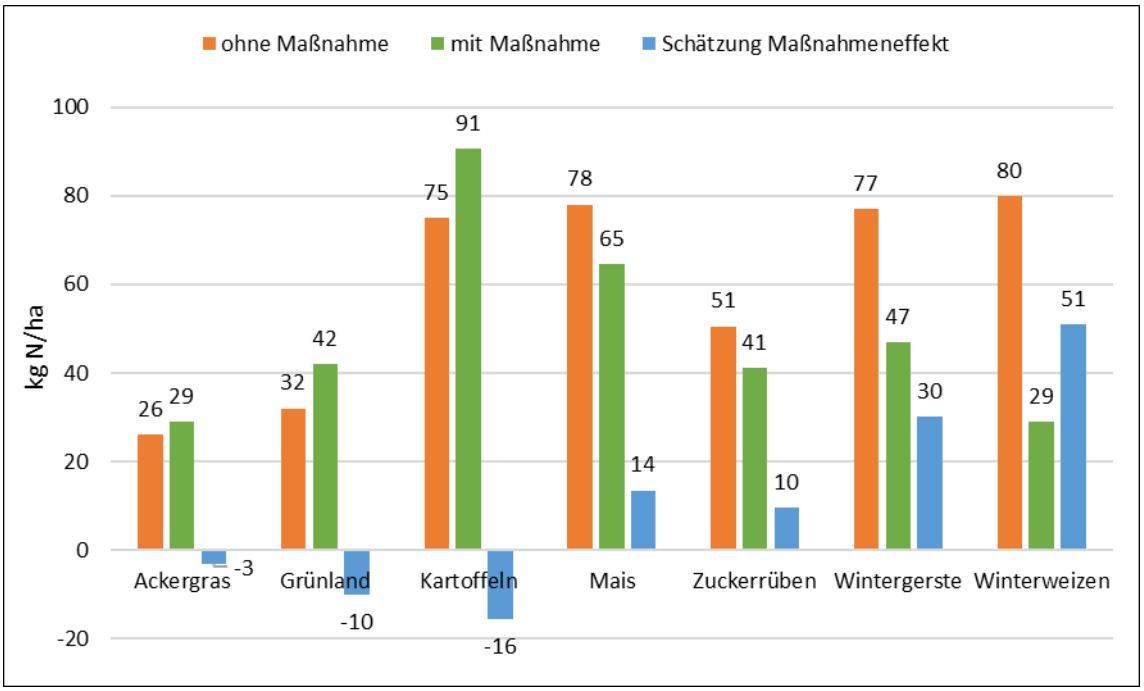


Abbildung 81: Schätzung des Maßnahmeneffekts im WSG Lüttelbracht (Mediane ausgewählter Kulturen - Zeitraum 2014 - 2017)

Abbildung 81 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit den Werten von Flächen mit Prämienmodellförderung im WSG Lüttelbracht, abhängig von der Hauptfrucht des Jahres. Die Grafik zeigt positive Maßnahmeneffekte für die Sommerungen Mais und Zuckerrüben (um die 10 kg N/ha) und Wintergetreide (30 bzw. 51 kg N/ha für Wintergerste und Winterweizen, respektive). Keine Minderungswirkung der Flächenmaßnahme „Prämienförderung“ wurde dagegen für die Kulturen Ackergras, Grünland und Kartoffeln ermittelt.

Die Ermittlung einer beträchtlichen positiven Maßnahmenwirkung für die Kulturen Wintergerste und Winterweizen ist dank der Bestimmung anhand der Mediane möglich. Für diese Kulturen liegt der Durchschnittswert 29 bzw. 23 kg N/ha höher als der entsprechende Median von 47 bzw. 29 kg N/ha (vgl. Werte für diese Kulturen in Abbildung 80 und Abbildung 81 „mit Maßnahme“). Dies deutet auf eine hohe Anzahl von „Ausreißer“-Werten hin. Abbildung 82 und Abbildung 83 verdeutlichen diesen Zusammenhang, der wie erläutert mit einem Gemüseanbau als Zweitfrucht nach Ernte der Hauptfrucht zusammenhängt.

Medianwerte ermöglichen eine bessere Einschätzung der für eine Kultur üblichen Werte und damit der Maßnahmenwirkung. Nichtsdestotrotz wird die Grundbelastung in einem WSG von den Ausreißerwerten mitgeprägt. Der Mittelwert für jede Kultur wie auch der Durchschnittswert für das WSG in einem gegebenen Jahr gibt aus diesem Grund die Gesamtbelastung besser wider.

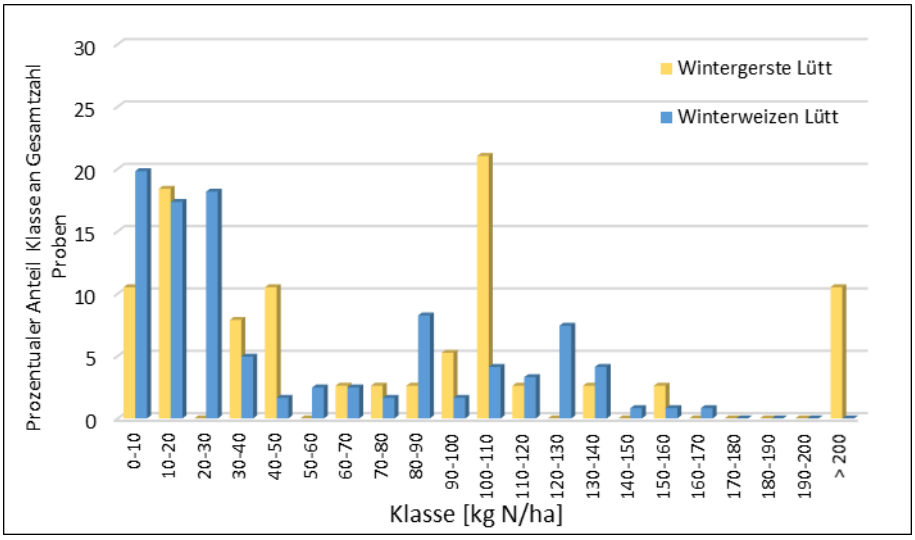


Abbildung 82: Häufigkeitsverteilung Herbst-Nmin nach Winterweizen und Wintergerste - WSG Lüttelbracht

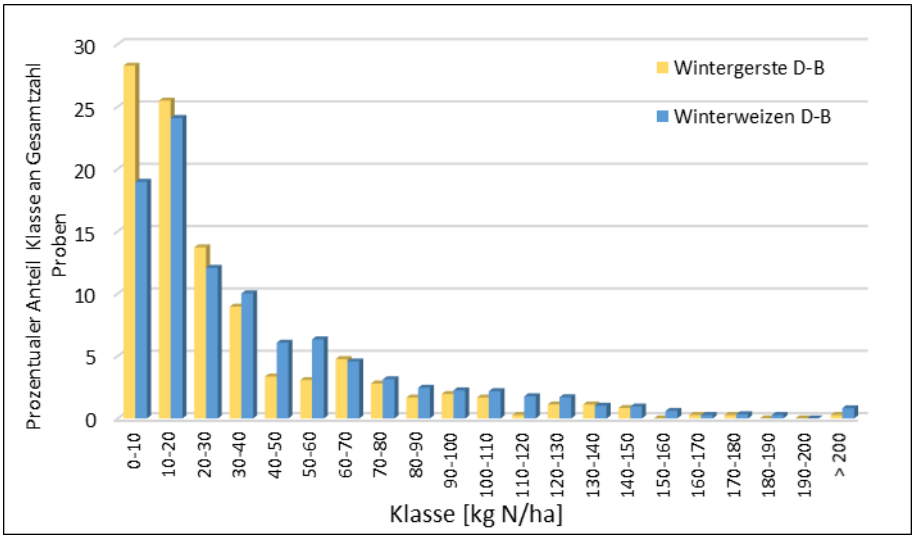


Abbildung 83: Häufigkeitsverteilung Herbst-Nmin nach Winterweizen und Wintergerste - WSG Dülken-Boisheim

7.1.6.4 Zusammenfassende Auswertung

Im WSG Lüttelbracht sind die Herbst-N_{min}-Werte vergleichsweise sehr hoch: Der flächengewichtete Mittelwert im Zeitraum 2014 – 2017 liegt durchschnittlich bei 88 kg N/ha. Dies ist neben den hohen Werten für alle Kulturen auch dem hohen Anteil an Gemüse und Kartoffel im Anbau-Mix geschuldet, welche im WSG hohe Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte erreichen. Sehr wahrscheinlich ist es, dass der Gemüseanteil aufgrund von Gemüseanbau als Zweitfrucht sogar unterschätzt wird.

Generell sind die Rahmenbedingungen für den Grundwasserschutz im WSG Lüttelbracht sehr ungünstig, wie schon für die Gebiete der benachbarten Kooperation Nettetal erläutert. Zum sehr hohen Anteil an Problemkulturen kommen ein hoher Viehbesatz in der Region und die Nähe zur niederländischen Grenze, die in den vergangenen Jahren zu sehr hohen Gülleimporten in den Landkreis führte.

Auf Grundlage der vorhandenen Daten lässt sich, trotz der ungünstigen Rahmenbedingungen aufgrund der sehr hohen landwirtschaftlichen Intensität in und um das WSG herum, auf Erfolge der Kooperationsarbeit schließen. Die Schätzung der Maßnahmenwirkung für die Maßnahme „Förderung nach Prämienmodell“ ergibt für die Kulturen Wintergerste, Winterweizen, Mais und Zuckerrüben positive Wirkungen. Bei Ackergras, Grünland und Kartoffeln sind die Werte des Gebietes schlechter als

die Kontrastwerte. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es im Rahmen dieser Studie, aufgrund fehlender Herbst-N_{min}-Daten für Flächen außerhalb von Wasserschutzgebieten, lediglich eine einzige Reihe von Kontrastwerten gebildet werden konnte. Dementsprechend kann diese einzelne Wertreihe für verschiedene Kulturen keine Unterschiede in der landwirtschaftlichen Intensität innerhalb NRWs abbilden. Es ist denkbar und auch zu vermuten, dass die Herbst-N_{min}-Werte von benachbarten Flächen, die nicht Teil einer Gewässerschutzkooperation sind, höher als die recherchierten Kontrastwerte sind und somit eine stärkere Wirkung der Kooperationsarbeit nachweisen würden.

Die Prämien im Gebiet Lüttelbracht liegen beim Vergleich mit anderen Gebieten eher im niedrigen Bereich. Dies hängt möglicherweise damit zusammen, dass die Prämienförderung für alle teilnehmenden landwirtschaftlichen Flächen im WSG gilt und nicht nur für eine Auswahl davon (z. B. beschränkt auf Flächen im WSZ II und IIIa). Die relativ niedrigen Prämien in einem Gebiet, wo Kulturen mit potenziell sehr hohen Gewinnmargen (insb. Gemüse und Kartoffeln) angebaut werden, führen möglicherweise dazu, dass es einigen Landwirten an Motivation fehlt, die Grenzwerte einzuhalten. Im Vergleich zu anderen Gebieten sind die Herbst-N_{min}-Grenzwerte für die Prämien relativ hoch.

Zusammenfassend kann trotz der sehr ungünstigen landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen von einer Maßnahmenwirkung der Prämienförderung ausgegangen werden. Die im Vergleich eher geringen finanziellen Prämien scheinen mit den weiteren finanziellen Anreizen in der Landwirtschaft (potenziell hohe Gewinnmargen für Gemüse- und Kartoffelanbau, Möglichkeit des Gemüseanbaus als Zweitfrucht nach Ernte der Hauptfrucht, Zahlungen für Aufnahme von Wirtschaftsdüngerimporten) nicht mithalten zu können, wodurch die Herbst-N_{min}-Werte im Gebiet konstant auf hohem Niveau sind.

7.1.7 Gatzweiler

7.1.7.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Gatzweiler-Rickelrath liegt südwestlich von Mönchengladbach und umfasst 16,45 km². Es wird praktisch von weiteren Wasserschutzgebieten eingeschlossen. Im Osten des WSG Gatzweiler liegt der Ort Rheindahlen, der zum Stadtbezirk West von Mönchengladbach gehört. Von Rheindahlen aus betrachtet erstreckt sich das WSG wenige Kilometer nach Westen, reicht jedoch nicht bis zu den nächsten Ortschaften (Busch, Beeck etc.) und hat einen langen schmalen Streifen Richtung Süden, der zum Teil im Landkreis Heinsberg liegt. Der letzte Ausläufer des WSGs Gatzweiler liegt südlich von der noch im Gebiet liegenden Ortschaft Rath-Anhoven. Das Gebiet wird gekreuzt von der Bundestraße 57 sowie vom Mühlenbach und dem Ahlsbruchbach. Neben den genannten Ortschaften und einigen Waldflächen, die sich vorwiegend im Westen und nahe des Mühlenbachs befinden, ist das WSG Gatzweiler vorwiegend durch landwirtschaftliche Flächen geprägt, die knapp über 50% der Fläche des WSG abdecken (vgl. Karte im Anhang 10.2.8).

Die Kooperationsarbeit im WSG Gatzweiler begann im Jahr 1990, und mündete in der Gründung des „Arbeitskreis Wasserwirtschaft/Landwirtschaft in den Wasserschutzgebieten Gatzweiler, Rheindahlen und Reststrauch“ 1992 durch die damaligen Stadtwerke Mönchengladbach und den Landwirten dieser drei Wasserschutzgebiete. Von Beginn an wurde die Umsetzung von Maßnahmen gefördert (Modell Maßnamenförderung). Im Jahr 2005, mittlerweile als Teil der NEW Niederrhein Wasser, wurden im WSG die Gewässerschutzbemühungen intensiviert, zum einen mit der Umsetzung eines Extensivierungsgebiets (Prämienmodell) auf ca. 10% der Fläche des WSGs, zum anderen mit jährlichen Kampagnen mit Herbst-N_{min}-Messungen.

Das Extensivierungsgebiet erstreckt sich auf ca. 50 Schläge mit einer Fläche von 142 ha, die im Zustrom (Richtung Osten) und kreisförmig um die Produktionsbrunnen liegen. Die Flächen befinden sich überwiegend in der WSZ IIIa, kleinere Anteile liegen in der WSZ II und IIIb. Von den 142 ha sind 23 ha extensives Grünland im Eigentum der NEW Niederrhein Wasser, die unter starken Einschränkungen bzgl. Stickstoffdüngung verpachtet werden. Für die Ackerflächen im Extensivierungsgebiet werden Prämien für das Unterschreiten von Herbst-N_{min}-Grenzwerten bezahlt.

Im restlichen WSG („Maßnahmengebiet“) wird die Umsetzung einzelner Maßnahmen gefördert. Sowohl im Prämiengebiet als auch im Maßnahmengebiet findet Beratung statt. Die Karte im Anhang 10.2.8 zeigt das Wasserschutzgebiet, mitsamt Produktionsbrunnen, Wasserschutzzonen und Lage des Prämien- und Maßnahmengebiets.

Abbildung 84 zeigt die Fruchtartenverteilung **für das Prämiengebiet** im Zeitraum 2008 bis 2017. In roten Farben werden potenzielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr dargestellt: Mais, Kartoffeln und Gemüse. Gelbbraun sind die Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen markiert. Winterraps wird hellgrün dargestellt, alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst. Im Jahre 2015 bis 2017 wurden Zuckerrüben nicht mehr einzeln aufgeführt, sondern unter Rüben zusammengefasst (s. schraffierte Fläche).

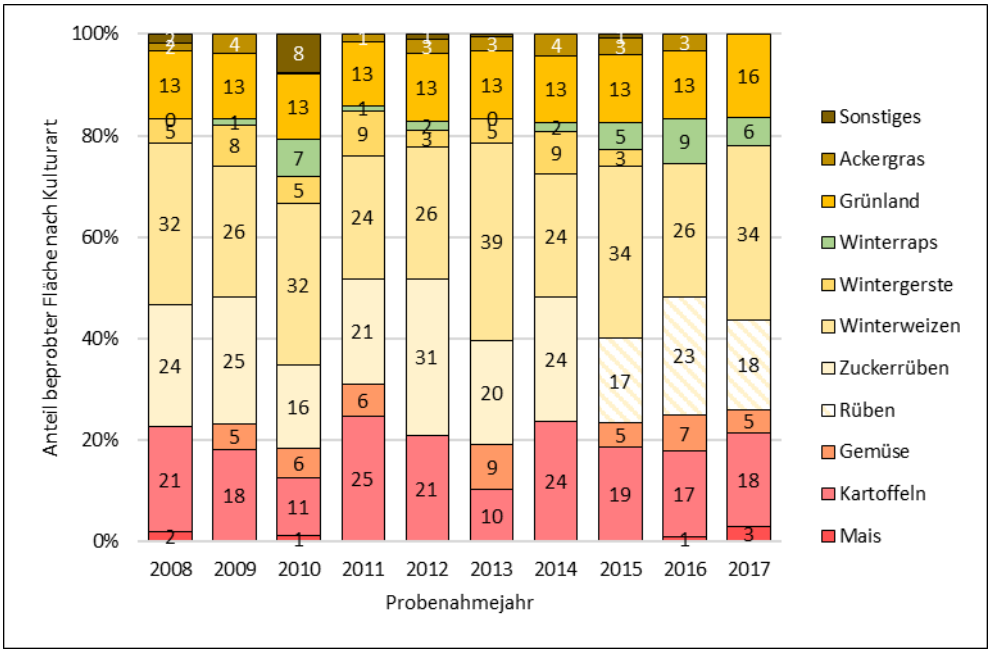


Abbildung 84: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – Prämiengebiet WSG Gatzweiler (Zeitraum 2008 - 2017)

Die Anteile der einzelnen Kulturen können jährlichen Schwankungen unterliegen, wie in Abbildung 84 zu sehen ist. Dies liegt nicht an Änderungen an den am Prämiengebiet teilnehmenden Flächen – hier gab es nur geringe Änderungen durch einzelne dazukommenden oder wegfallenden Schläge (Jahr 2008 = 140 ha, Jahr 2011 = 149 ha, seit 2012 = 142 ha). Die Schwankungen sind eher darauf zurückzuführen, dass bei einer recht geringen Größe von ca. 142 ha die üblichen Kulturänderungen auf ein paar wenigen Flächen, z. B. im Zuge der Fruchtfolge des Betriebs, in der Summe zu starken Unterschieden zwischen den Jahren führen können. Anhand von Abbildung 84 ist also nicht von wesentlichen Änderungen im Anbaumix sondern von eher konstanten Anteilen der Kulturen im betrachteten Zeitraum auszugehen.

Der Anteil an Problemkulturen im Extensivierungsgebiet schwankt im betrachteten Zeitraum zwischen 18 und 31% und liegt mit einem Mittelwert von 23% auf einem niedrigen Niveau. Während Mais und Gemüse kaum angebaut werden, nehmen Kartoffeln mit durchschnittlich 18% der Fläche des Prämiengebiets einen vergleichsweise hohen Anteil an der Fläche ein. Der Anteil an Wintergetreide (überwiegend Winterweizen) im Prämiengebiet schwankt zwischen 30 und 45% und liegt damit auf relativ hohem Niveau. Auch Zuckerrüben sind mit einem durchschnittlichen Anteil von rund 25% gut vertreten. Der Ackergras- und Grünlandanteil liegt gemeinsam um die 15%, für Mais sind die Anteile im Gebiet ungewöhnlich niedrig. Insgesamt ist der Anteil von Sommerungen am Anbaumix mit ca. 45% ziemlich hoch, dementsprechend sind die Voraussetzungen für Zwischenfruchtanbau vor Sommerungen im Prämiengebiet gut.

Die oben dargestellte Verteilung der Kulturen ist auf recht stabile und einheitliche Fruchtfolgen im Prämiengebiet zurückzuführen. Die häufigste Fruchtfolge im Prämiengebiet ist die dreigliedrige Folge Zuckerrüben-Winterweizen-Kartoffeln (die auf manchen Flächen durch ein viertes Glied Winterweizen

bzw. Winterraps ergänzt wird). Die klassische dreigliedrige rheinische Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste wird nur auf einigen wenigen Flächen angebaut, wie am geringen Gersteanteil in Abbildung 84 zu erkennen ist.

Die Intensität der Landwirtschaft um das WSG Gatzweiler herum kann im Vergleich als hoch eingestuft werden. Die Viehbesatzzahlen in der Region sind zwar mit 0,5 GVE/ha LNF für die Gemeinden Mönchengladbach und Wegberg niedrig. Es gibt im Landkreis allerdings hohe Gülleimporte aus den Niederlanden: Im Jahr 2013 lag der durchschnittliche Gülleimport für den Landkreis Viersen (bei dem Mönchengladbach mitgerechnet wird) bei 46,5 kg N/ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, mit einem nur unwesentlich geringeren Wert von 43,7 kg N/ha LNF für das Jahr 2016 (LWK NRW 2017).[23] Diese landwirtschaftliche Intensität schlägt sich in den im Rahmen des GROWA+ NRW2021-Projekts modellierten N-Bilanzüberschüssen für die kreisfreie Stadt Mönchengladbach und die Gemeinde Wegberg nieder: Bei beiden liegen die Bilanzüberschüsse in der zweithöchsten Klasse (Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017).

7.1.7.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Wie oben erwähnt, ist das WSG Gatzweiler eingeteilt in ein Prämiengebiet („Extensivierungsgebiet“), in welchem Ausgleichszahlungen nach dem erreichten Herbst-N_{min}-Wert gezahlt werden und weiteren Kooperationsflächen, in denen die Förderung einzelner Maßnahmen durchgeführt wird. In beiden Gebieten findet die gleiche Gewässerschutzberatung statt. Diese zwei unterschiedlichen Formen der Kooperationsarbeit werden im Folgenden erläutert.

Fördermodalitäten im Prämiengebiet

Das Prämiengebiet liegt überwiegend in der Wasserschutzzone IIIa, mit kleineren Anteilen in der WSZ II und IIIb. Mit 142 ha Größe dehnt es sich über etwas weniger als 10% der Gesamtfläche des WSGs aus. Über die Jahre hat sich die Größe des Prämiengebiets nur geringfügig geändert, aufgrund einzelner dazukommender oder wegfallender Schläge.

Von den 142 ha sind 23 ha Grünland in Eigentum der NEW Niederrhein Wasser, die sehr extensiv bewirtschaftet werden. Zu den Auflagen zählen eine Einmaldüngung von 60 kg N zu Vegetationsbeginn und maximal 2 Schnitte im Jahr. Da für diese Flächen durch Pacht und Auflagen schon für eine extensive Bewirtschaftung gesorgt wird, gelten die Förderbedingungen des Prämiengebiets nur für Ackerbauflächen.

Im Prämiengebiet werden Ausgleichszahlungen getätigt, wenn auf Ackerbauflächen festgelegte Herbst-N_{min}-Grenzwerte unterschritten werden. Für das Jahr 2017 waren die Zahlungen folgende:

- bei 55-70 kg N/ha = 80 €/ha
- bei <55 kg N/ha = 270 €/ha

Zusätzlich zur Prämie kann noch eine Zahlung von 160 €/ha/Jahr beantragt werden, wenn man anstatt Wintergetreide Sommergetreide nach Kartoffeln oder Getreide anbaut. Allerdings wurde im betrachteten Zeitraum dieses Förderpaket nicht wahrgenommen.

Mit der Auszahlung von Prämien sind zusätzliche Auflagen verbunden:

- Reduzierte Stickstoffdüngung.
- Verpflichtender Anbau von Zwischenfrüchten, wenn möglich, Umbruch frühestens ab 1. Februar.
- Bei Mais ohne Winterkultur als Folgefrucht darf keine Bodenbearbeitung und keine Düngung bis zum 1. Februar erfolgen.

[23] Eigene Berechnung auf Basis von LWK NRW, 2017, Tabellen 6 und 7 (25% Gewichtung für Importe im Jahr 2013, 75% für Importe im Jahr 2017) und Angaben zu landwirtschaftlicher Nutzfläche je Landkreis aus Agrarstatistik 2010.

- Kartoffelanbauflächen müssen bis zum 30. August des Anbaujahres mit Gras, Senf oder Ölrettich begrünt sein.
- Seit 2011 darf zudem keine Fläche länger als 14 Tage unbegrünt bleiben und nach dem 15. Oktober keine Düngung mehr erfolgen.

Fördermodalität im Maßnahmengebiet

Im restlichen WSG werden nachstehende Flächenmaßnahmen mit folgenden Beiträgen gefördert:

- Zwischenfruchtanbau mit Umbruch nach dem 15. Dezember 40 €/ha
- Zwischenfruchtanbau mit Umbruch nach dem 01. Februar 85 €/ha
- Zwischenfruchtanbau mit Mulchsaat und Umbruch frühestens 14 Tage vor Einsaat der Sommerung 130 €/ha
- Maisuntersaat mit Umbruch nach dem 15. Februar 80 €/ha
- Verzicht auf Bodenbearbeitung und Ausbringung stickstoffhaltiger Dünger nach Ernte von Mais oder Getreide bis zum 15. Januar 40 €/ha

Die letzten zwei Flächenmaßnahmen werden allerdings kaum wahrgenommen. Nach Angaben des Beraters gibt es so gut wie keine Maisuntersaaten im Gebiet. Auf den wenigen Maisflächen im WSG kommt nach der Ernte i.d.R. Winterweizen in der Fruchtfolge, womit die Maßnahme „Verzicht auf Bodenbearbeitung“ nicht stattfinden kann. Nur bei einer verschwindend geringen Anzahl an Flächen, bei denen Mais als Folgefrucht kommt, wird diese letztere Maßnahme gefördert.

Mit durchschnittlich 63 ha/a wurde die Maßnahme „Zwischenfruchtanbau“ zwischen 2008 und 2017 am häufigsten umgesetzt. Sie fand damit auf ca. 9% der landwirtschaftlichen Flächen im Maßnahmengebiet statt. Die Maßnahme „Zwischenfrucht mit Mulchsaat“ wurde bei etwa 35 ha/a gefördert (Förderung mit 130 €/ha seit 2010). Die Maßnahme „Verzicht auf Bodenbearbeitung nach Ernte von Mais oder Getreide“ (auch als "Maisstoppel", "Getreidestoppel" oder "Nicht-Umbruch" genannt) wird mit circa 5 ha/a wie oben erwähnt kaum umgesetzt (Förderung 40 €/ha).

Darüber hinaus werden Maßnahmen gefördert, die eine optimierte Düngeplanung und Verteilung ermöglichen sollen, wie Nährstoffuntersuchungen von Wirtschaftsdüngern, Gärsubstrat und Serodüngern, die Überprüfung und Einstellung von Düngerstreuern, sowie Lagerraum für flüssigen Wirtschaftsdünger und Festmist.

Zusätzlich wird die Sammlung und Entsorgung alter Pflanzenschutzmittel gefördert.

Die Kooperationsarbeit im WSG Gatzweiler hat somit Ähnlichkeiten mit der in den WSG Emmerich-Helenenbusch und Flüren-Diersfordt-Blumenkamp. Wie auch in diesen Gebieten gibt es im WSG Gatzweiler ein Prämiengebiet und ein restliches WSG mit Maßnahmenförderung. Diese Förderung von Flächenmaßnahmen findet allerdings in einem relativ geringen Umfang statt, der Schwerpunkt der Kooperationsarbeit liegt in diesen Gebieten auf Beratungsleistungen.

Dem Gutachter liegen für das WSG Gatzweiler lediglich Herbst-N_{min}-Werte für das Prämiengebiet vor. Mithilfe der landwirtschaftlichen Daten ist somit lediglich eine Ergebnisauswertung der Kooperationsarbeit im Prämiengebiet möglich; die Erfolge der Kooperationsarbeit im restlichen WSG kann mittels den uns zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Daten jedoch nicht bewertet werden.

7.1.7.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im Prämiengebiet

In der Abbildung 85 werden die jährlichen Durchschnittswerte (flächengewichtet) für das Prämiengebiet der Kooperation Gatzweiler im Zeitraum 2014 bis 2017 dargestellt.

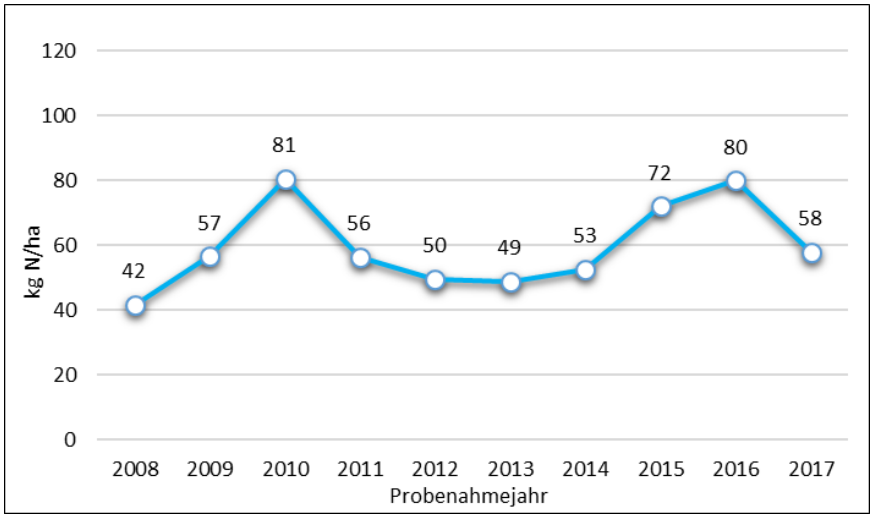


Abbildung 85: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Kooperation Gatzweiler

Die jährlichen flächengewichteten Durchschnittswerte sind mit 42 bis 81 kg N/ha (Durchschnitt = 60 kg N/ha) moderat hoch. Auffällig sind die starken Schwankungen, die sich in dieser Form in keinem der anderen Gebiete zeigten. Eine Trennung der Werte nach Kulturen verdeutlicht, dass diese auf entsprechende Schwankungen der Durchschnittswerte einzelner Kulturen zurückzuführen sind. Abbildung 86 zeigt, dass im Jahr 2010 vergleichbar hohe Werte für Grünland, Weizen aber insbesondere Kartoffeln, mit einem flächengewichteten Durchschnitt von 170 kg N/ha, den Durchschnittswert nach oben treiben, während es im Jahr 2016 die hohen Durchschnittswerte für Winterraps und Kartoffeln sind, die die Werte erhöhen. Dazu kommt, dass der stark variierende Anteil von Winterraps an der Fläche im Jahr 2016 mit 9% der höchste Wert im betrachteten Zeitraum ist (vgl. Abbildung 84).

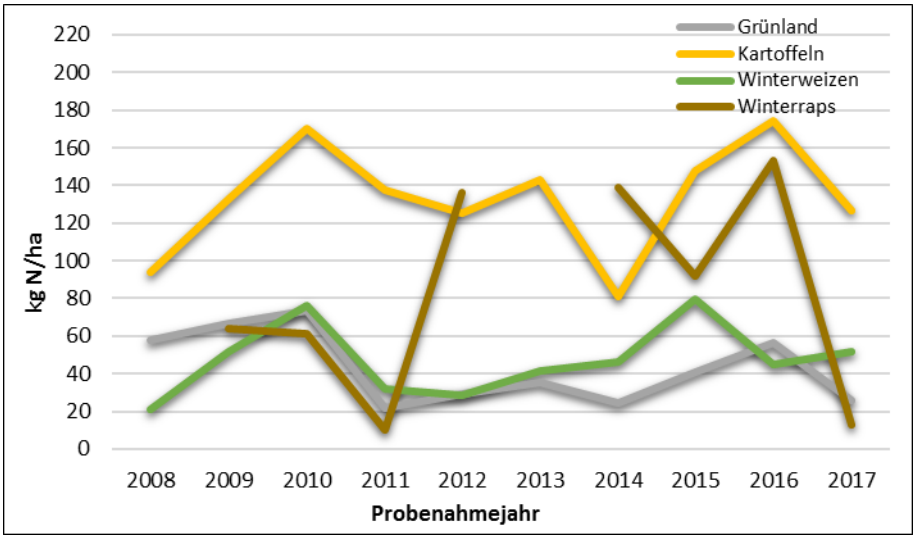


Abbildung 86: Flächengewichtete Durchschnittswerte für Herbst-Nmin bei ausgewählten Kulturen – Prämiengebiet WSG Gatzweiler (Zeitraum 2008 - 2017)

In der Abbildung 87 sind die Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte in Abhängigkeit von der Hauptfrucht des Probenahmejahres für den Zeitraum 2014 - 2017 abgebildet.

In der Grafik ist zu sehen, dass die Durchschnittswerte nach Kulturen im Prämiengebiet des WSG Gatzweiler im Durchschnitt, bis auf wenige Ausnahmen, moderat hoch liegen. Auffällig sind insbesondere die sehr hohen Werte für Kartoffeln und Winterraps, die vergleichbar hohen Werte für Wintergerste und Winterweizen sowie die niedrigen Werte für Zuckerrüben und für die Problemkultur Mais (letztere allerdings mit einer sehr geringen n-Zahl).

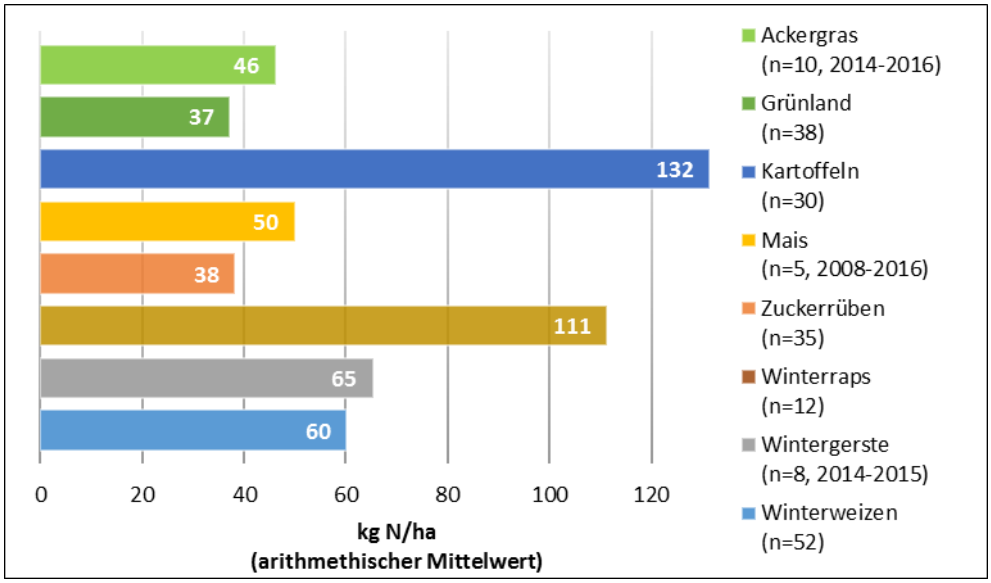


Abbildung 87: Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - Kooperation Gatzweiler (ausgewählte Kulturen - Zeitraum 2014 – 2017

Sehr hohe Werte für Kartoffeln kommen insbesondere dann zustande, wenn, wie in Gatzweiler üblich, die Kartoffeln erst spät geräumt werden (laut Berater werden im WSG Gatzweiler überwiegend „Spätkartoffeln“ angebaut) und darauf folgend Wintergetreide angebaut wird. Zu dem schon vorhandenen mineralisierten Stickstoff im Boden kommt der Stickstoff, der durch Rodung und die Saatbettbereitung für das folgende Wintergetreide mineralisiert wird und vom Getreide im Herbst kaum noch aufgenommen werden kann. Bei Frühkartoffeln mit anschließender Sommerung werden im Prämiengebiet laut Berater zu einem großen Teil Zwischenfrüchte angebaut, welche viel höhere Stickstoffmengen im Herbst aufnehmen, was sich auch in den Herbst-N_{min}-Werten wiederspiegelt. Auch bei Schlägen mit Wintergetreide als Hauptfrucht des Probenahmejahres zeigen sich diese Zusammenhänge zwischen Höhe der Herbst-N_{min}-Werte Art der Folgefrucht. Abbildung 88 zeigt dies für beide Kulturen.

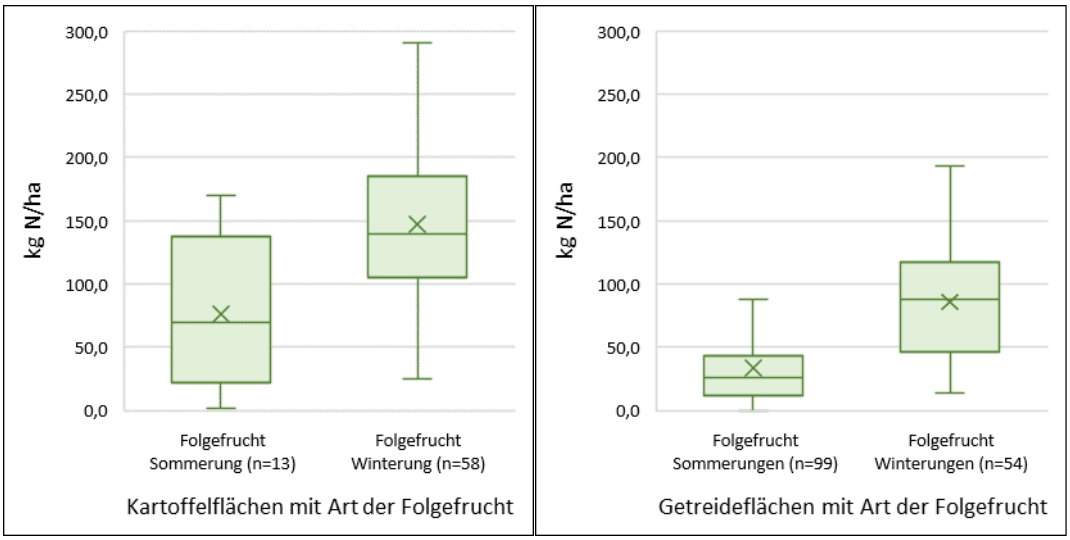


Abbildung 88: Vergleich von Herbst-N_{min}-Werten für Flächen mit Kartoffeln und Wintergetreide als Hauptfrucht des Jahres mit anschließender Sommerung bzw. Winterung

Für Kartoffeln und Wintergetreide liegt der Mittelwert für nachfolgende Sommerungen bei weniger als der Hälfte von dem der nachfolgenden Winterungen. Dies ist zum Teil auf die im Prämiengebiet geltende Pflicht zum Zwischenfruchtanbau – sofern dieser möglich ist – zurückzuführen. Die Streuung der Werte bei Kartoffelflächen mit Folgefrucht Sommerung hängt womöglich damit zusammen, dass

der Anbau einer Zwischenfrucht aufgrund des Erntetermins nur auf einigen und nicht auf allen Schlägen dieser Gruppe stattfinden konnte.

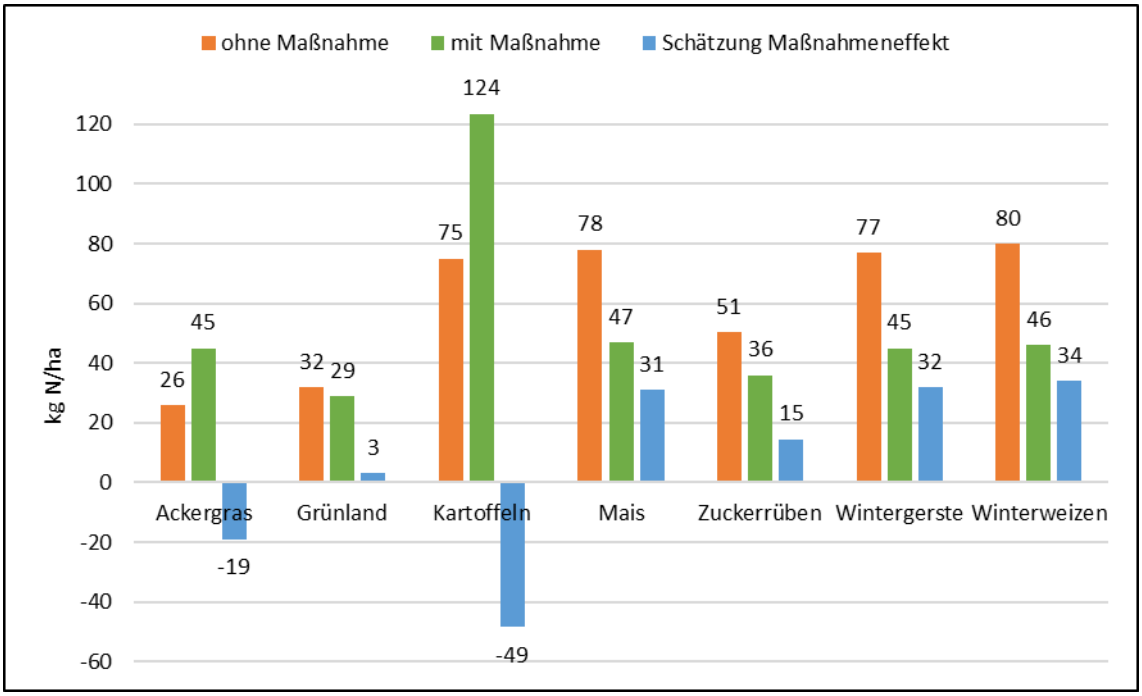
Winterraps, eine Kultur, die sich auch durch hohe Herbst-N_{min}-Werte auszeichnet, hat einen sehr hohen Durchschnittswert von über 100 kg N/ha für den Zeitraum 2014 – 2017. Dieser außerordentlich hohe Wert hängt mit einer ungünstigen Kombination im Jahr (2016) zusammen, in welchem eine vergleichsweise hohe Anzahl an Schlägen mit Anbau von Winterraps und mit sehr hohen Herbst-N_{min}-Werten für diese Kultur zusammenkamen (vgl. Abbildung 84 und Abbildung 86).

Der Durchschnittswert für Zuckerrüben von 38 kg N/ha ist ein für diese Kultur niedriger Wert, der laut Berater unter anderem mit dem Anbau zur Zuckerproduktion zusammenhängt, in dem heutzutage eine sorgfältigere Düngung im Vergleich zu den 1990er-Jahren vorgenommen wird. Durch die heutigen festen Verträge mit Zuckerfabriken würde verstärkt auch auf qualitative Aspekte in der Produktion geachtet und nicht nur auf reine Ertragssteigerungen abgezielt.

Grünland, mit einem bedeutsamen Anteil an der Fläche von 13%, erreicht im Durchschnitt Werte von 37 kg N/ha für die Jahre 2014-2017 und liegt dabei auf einem mittleren Niveau für diese Kultur. Somit gehört Grünland mit Zuckerrüben zu den Kulturen, die die Durchschnittswerte für das Prämiengebiet mindern können.

Für den Gewässerschutz sind insbesondere die sehr hohen Werte bei Kartoffeln, die leicht erhöhten Werte für Winterweizen sowie die niedrigen Werte bei Zuckerrüben und Grünland relevant, da diese vier Kulturen insgesamt über 80% der landwirtschaftlichen Fläche ausmachen.

Abbildung 89 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit den Werten für Flächen im Prämiengebiet des WSGs Gatzweiler, nach Kultur.[24]



[24] Um den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden, fließen in diese Grafik die Daten der letzten 4 Jahre ein. Die verglichenen Werte sind aus methodischen Gründen keine Mittelwerte sondern Mediane und fallen dadurch niedriger aus als die Herbst-Nmin-Durchschnittswerte nach Kultur. Herkunft und Ableitung der Kontrastwerte werden in Kapitel 6.1 zusammengefasst.

Abbildung 89: Schätzung des Maßnahmeneffekts „Prämienförderung“ in der Kooperation Gatzweiler Bei der Schätzung der Maßnahmenwirkung fallen die Wirkungen für Ackergras (bei geringer n-Zahl) und Grünland negativ bzw. fast gleich null aus. Die Sommerungen Mais und Zuckerrüben zeigen eine deutlich positive Wirkung (Mais allerdings mit einem geringen Anteil an der Fläche im Gebiet), dagegen ist keine Wirkung der Maßnahme „Prämienförderung“ für die Kultur Kartoffeln zu erkennen. Dies kann unter anderem daran liegen, dass der Kontrastwert für diese Kultur unterschiedliche Kartoffelsorten zusammenfasst, wogegen es sich im WSG eher um Spätkartoffeln mit stark erhöhten Herbst-N_{min}-Werten handelt.

Für die Wintergetreidesorten Winterweizen und Wintergerste (letzterer mit geringem Anteil an der Fläche) ergibt die Schätzung der Wirkung deutliche Minderungen von über 30 kg N/ha. Diese fallen ggf. etwas zu positiv aus aufgrund der nicht idealen Kontrastwerte für beide Kulturen.

7.1.7.4 Zusammenfassende Auswertung

Die Wirkung der Flächenmaßnahmen im WSG Gatzweiler können auf Grundlage der Herbst-N_{min}-Werte nur für die Prämienförderung im Extensivierungsgebiet beurteilt werden. Über die Wirkungen im restlichen Kooperationsgebiet lassen sich an dieser Stelle keine Aussagen treffen.

In Prämiengebiet der Kooperation Gatzweiler liegen die Durchschnittswerte für Herbst-Nmin moderat hoch: Der flächengewichtete Mittelwert des Zeitraums 2014 - 2017 liegt bei 60 kg N/ha. Auffällig sind die starken Schwankungen dieser Durchschnittswerte, die im Wesentlichen mit den in einem gegebenen Jahr erreichten Herbst-N_{min}-Werten für die Kultur Kartoffeln zusammenhängen (vgl. Abbildung 85 und Abbildung 86).

Im Allgemeinen sind die Rahmenbedingungen für niedrige Herbst-N_{min}-Werte im WSG Gatzweiler nicht besonders günstig, jedoch als besser zu bewerten als in manchen benachbarten Wasserschutzgebieten wie Kaldenkirchen, Breyell-Lobberich, oder Lüttelbracht. Während der Anteil an Problemkulturen eher niedrig ist, zeichnet sich die Region durch einen mittelhohen Viehbesatz und sehr hohe Gülleimporte aus. Vor dem Hintergrund der relativ intensiven Landwirtschaft in der Region und der hohen modellierten N-Bilanzüberschüsse in Rahmen des Projekts GROWA+ NRW2021 (LWK NRW, vTI, 2017) sind die erreichten Werte für die einzelnen Kulturen und die moderaten Durchschnittswerte als einen deutlichen wenngleich moderaten Erfolg der Kooperationsarbeit zu beurteilen.

Die Schätzungen der Maßnahmenwirkungen zeigen für die Maßnahme „Prämienförderung“ bei den Kulturen Winterweizen, Zuckerrüben, Wintergerste und Mais positive Werte. Bei Ackergras, Grünland und Kartoffeln sind die Herbst-N_{min}-Werte des Gebietes schlechter oder nahezu gleichauf mit den Kontrastwerten für Schläge ohne Wasserschutzmaßnahmen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Kontrastwerte für alle Kooperationen identisch sind, und keine Unterschiede in der landwirtschaftlichen Intensität abbilden können. Es ist durchaus möglich, dass eine Messung der Herbst-N_{min}-Werte in benachbarten Schlägen, die nicht Teil einer Gewässerschutzkooperation sind, deutlich höhere Werte für diese Kulturen aufweisen würden.

Die Prämien im WSG Gatzweiler liegen beim Vergleich mit anderen Gebieten in einem mittelhohen Bereich. Es ist allerdings davon auszugehen, dass trotz der recht beträchtlichen Förderbeträge bei einigen Kulturen wie Kartoffeln diese Prämien keine ausreichende Wirkung entfalten können, da die hohen Marktpreise, die für diese Kulturen erreicht werden können, einen vielfach höheren finanziellen Anreiz entfalten.

Zusammenfassend kann von einer deutlichen, wenn auch moderaten Maßnahmenwirkung der Prämienförderung ausgegangen werden. Vor dem Hintergrund der intensiven Landwirtschaft und der sehr hohen modellierten N-Bilanzüberschüsse in der Region sind die erreichten Durchschnittswerte als Erfolg der Kooperationsarbeit zu beurteilen. Die Wirkung der Maßnahmen im Beratungsgebiet können mit den hier zugrundeliegenden Daten nicht abgeschätzt werden.

7.1.8 Dülken-Boisheim

7.1.8.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Dülken-Boisheim liegt südöstlich von Dülken, dem zweitgrößten Stadtteil Viersens. Ein kleiner Bereich von Dülken ist Teil des Einzugsgebiets. Das restliche Einzugsgebiet liegt etwas westlich

und fast parallel zur A 61, ein Ausläufer von WSZ IIIb liegt südlich der A 52. Neben kleineren Siedlungen und einem Waldstück im südlichsten Ausläufer ist das Gebiet vorwiegend durch Landwirtschaft geprägt. Das Gebiet wird auf der Karte im Anhang 10.2.9 dargestellt.

Die Zusammenarbeit zwischen Wasserversorgungsunternehmen und Landwirten im WSG Dülken-Boisheim begann im Jahr 1992. Es ist eins von drei Wasserschutzgebieten in der „Kooperation Wasserwirtschaft/Landwirtschaft und Gartenbau Amern, Dülken/Boisheim und Aachener Weg“, bei der die NEW NiederrheinWasser GmbH und der Kooperation beigetretene Landwirte und Gärtner in den Wasserschutzgebieten Mitglied sind.

Anders als für die meisten untersuchten Gebiete, für die eher kurze Datenreihen für 10 bzw. 4 Jahre vorliegen, stehen dem Gutachter für dieses Gebiet Herbst-N_{min}-Werte für den Zeitraum 1994-2017 zur Verfügung. Dies ermöglicht eine rückblickende Betrachtung der Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte bis Mitte der 1990er-Jahre.

In der Kooperation wird aktuell ein Prämienmodell umgesetzt. Das heißt, dass Landwirte keine Ausgleichszahlung für die Umsetzung einzelner Maßnahmen erhalten, sondern, dass sie bei Unterschreitung von festgelegten Herbst-N_{min}-Grenzwerten Prämien erhalten, wenn dabei gewisse Auflagen eingehalten werden (s. unten). In diesen Modellen, in denen auch immer eine für den Landwirt kostenlose Gewässerschutzberatung stattfindet, wird die Verantwortung für die Maßnahmengestaltung zur Erreichung des Grenzwertes auf den einzelnen Landwirt unter Berücksichtigung seiner unternehmerischen Fähigkeiten und Bewirtschaftung übertragen. Jede am Prämienmodell teilnehmende Fläche wird im Herbst auf ihren Rest-N_{min}-Gehalt beprobt, eine mögliche Auszahlung erfolgt auf Grundlage des Laborergebnisses.

In Abbildung 90 wird die Fruchtartenverteilung im Zeitraum 1994 bis 2017 dargestellt. In roten Farben werden potenzielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr dargestellt: Mais, Kartoffeln und Gemüse. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen. Alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst. Bis zum Jahr 2008 enthielt der Datensatz für einige Flächen keine Angaben zur Hauptfrucht des Probenahmejahres, diese werden grau schraffiert als „unbekannt“ dargestellt.

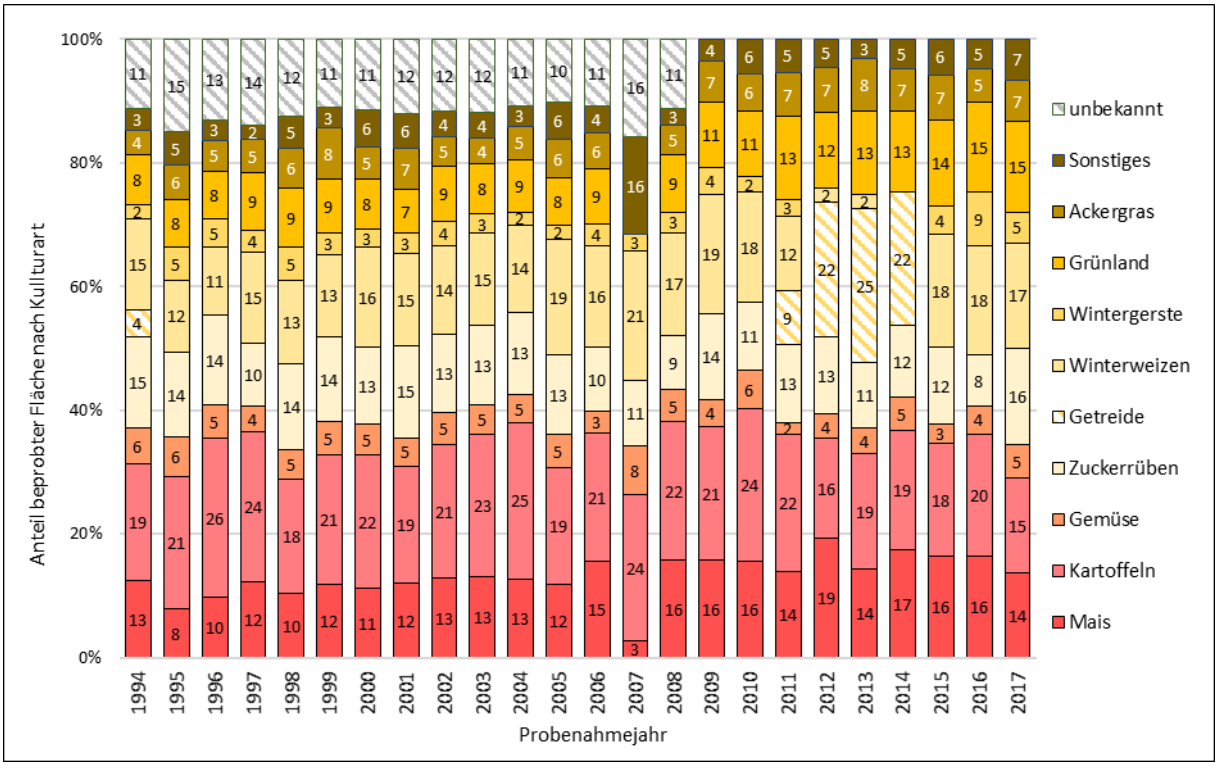


Abbildung 90: Prozentuale Verteilung der Fruchtarten auf den beprobten Standorten Der Anteil an Problemkulturen schwankt im WSG um die 40% und ist im Durchschnitt knapp unter diesem Wert, er liegt damit im mittleren Bereich. Auffällig ist der hohe Anteil an Kartoffeln im Anbaumix von rund 20%. Der Maisanteil hat sich seit den 1990er-Jahren leicht erhöht und liegt derzeit bei ca. 17%. Der Anteil an Gemüse, welches als Kulturengruppe üblicherweise die höchsten Herbst-N_{min}-Werte aufweist, ist mit ca. 4% vergleichsweise gering. Der Anteil an Zuckerrüben liegt bei ca. 15%, der von den Wintergetreidearten Winterweizen und Wintergerste insgesamt bei etwas über 20%. Der Anteil von Ackergras und Grünland, zwei Kulturen, die i.d.R. geringe Herbst-N_{min}-Werte aufweisen und somit bis zu einem gewissen Grad einen hohen Problemkulturenanteil ausgleichen können, liegt bei insgesamt ca. 22% und somit im Mittelbereich. In den letzten zehn Jahren ist der Anteil von Grünland leicht angestiegen.

Im Jahr 2007 wurden die Kulturen scheinbar in einem anderen Verhältnis zueinander angebaut. Dies liegt jedoch weniger an einem geänderten Anbauverhältnis als vielmehr daran, dass für 2007 nur wenige Daten vorliegen (n=38, weniger als 10% der Anzahl an Schlägen anderer Jahre).

Abbildung 90 zeigt einen Anteil an Sommerungen um die 50%, nach Abzug von Dauergrünland liegt dieser Anteil bei fast 60%, was auf gute Ausgangsbedingungen für den Zwischenfruchtanbau hinweist. Übliche Fruchtfolgen im Gebiet sind Winterweizen abwechselnd mit Kartoffeln bzw. Zuckerrüben (z. B. Winterweizen-Kartoffeln-Winterweizen-Kartoffeln-Winterweizen-Zuckerrüben) oder aber eine dreigliedrige Fruchtfolge mit Zuckerrüben-Kartoffeln-Winterweizen bzw. Zuckerrüben-Winterweizen-Kartoffeln. Die Rheinische Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste wie auch die Fruchtfolge Kartoffeln-Winterweizen-Wintergerste findet man auch im Datensatz, sie spielt allerdings eine eher untergeordnete Rolle.

Die Intensität der Landwirtschaft um das WSG Dülken-Boisheim herum kann als vergleichsweise hoch eingestuft werden. Hohe Pachtpreise, bewässerungsfähige Böden und die Befahrbarkeit der leichten Böden fördern einen intensiven Anbau. Die Viehbesatzzahlen (GVE/ha LNF) der Gemeinden Schwalmtal und Viersen (GVE/ha-Zahlen von 1,5 und 1,3; Agrarstatistik NRW 2010), zu denen der WSG Dülken-Boisheim anteilig gehört, sind relativ hoch. Dazu kommen die im Landkreis Viersen sehr hohen Gülleimporte aus den Niederlanden. Im Jahr 2013 lag der durchschnittliche Gülleimport für den Landkreis Viersen bei 46,5 kg N/ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, mit einem nur unwesentlich geringeren Wert von 43,7 kg N/ha LNF für das Jahr 2016. Nach Angaben des Beraters werden oft die auf den Flächen aufgebrachten Champost- und Kompostmengen nicht registriert.

Diese landwirtschaftliche Intensität schlägt sich in den im Rahmen des GROWA+ NRW2021-Projekty modellierten N-Bilanzüberschüssen im Jahr 2015-16 für die Gemeinden Viersen und Schwalmtal nieder, zu denen der WSG Dülken-Boisheim anteilig gehört. Für beide Gemeinden liegen die Bilanzüberschüsse in der zweithöchsten Klasse (Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017).

7.1.8.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Die Kooperation Dülken-Boisheim existiert seit 1992 und regelt Absprachen zwischen Landwirten, Gärtnern und dem Wasserversorgungsunternehmen NEW NiederrheinWasser GmbH. Seit 2008 liegt der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche im WSG, die an der Kooperation teilnimmt, konstant bei 92%.

Fördermodalität im Prämiengebiet

Seit 2004 ist das WSG Dülken-Boisheim ein Prämienmodell, bei dem Landwirte sowohl beraten werden als auch für das Unterschreiten von vorgeschriebenen Herbst-N_{min}-Grenzwerten Prämien erhalten. Als Flächenmaßnahme zählt in der Kooperation lediglich diese Auszahlung von Prämien bei Unterschreitung von Herbst-N_{min}-Grenzwerten.

Bei fast allen Kulturen erhalten Kooperationslandwirte bei Unterschreitung von 60 kg N/ha eine Prämie von 80 €/ha, und bei einem Wert zwischen 60 – 80 kg N/ha 25 €/ha. Wenn keiner dieser Grenzwerte eingehalten wird, erhält der Landwirt 5 €/ha für die Teilnahme an der Kooperation. Höhere Prämien bei Einhaltung der gleichen Grenzwerte werden für die Gemüsesorten Porree, Chinakohl, Blumenkohl, Brokkoli (200 €/ha bzw. 100 €/ha), wie auch für Kartoffeln und alle weitere Gemüsesorten (150 €/ha bzw. 75 €/ha) ausgezahlt.

Das Prämienmodell ist mit folgenden zusätzlich einzuhaltenden Auflagen verbunden:

- Verpflichtung pflanzenbedarfsgerechter Nährstoffversorgung nach Nmin-Methode oder N-Bilanzierung.
- Keine Ausbringung von Klärschlamm.
- Meldepflicht für Wirtschaftsdüngerimport.
- Einsatz nur von zertifiziertem Champost oder Kompost.
- Winterbegrünung (nach Ernte ohne Bodenbearbeitung, wie z. B. bei Mais, gibt es keine Begrünungspflicht).
- Keine Bodenbearbeitung nach dem 15. Oktober, außer zur Herbstbestellung.
- Ausbringung von Gülle, Jauche, Gärsubstrate, Hühnerkot und Hähnchenmist nur bis zum 31. August. Ausnahmen gelten für Ackergras, Grünland und mehrjährigen Ackergras.
- Vorlage einer Feld-Stall-Bilanz und Schlagkartei je Kultur beim Berater wie auch eine Auflistung der eingesetzten Pflanzenschutzmittel.
- Sonderauflagen bei gewissen Kulturen (Kartoffeln, Gemüse, Wintergetreide).

Für die Mitglieder der Kooperation gilt darüber hinaus eine eingeschränkte Nutzung von PSM: (1) PSM die im Grundwasser bereits eine Konzentration von > 0,1 µg/l überschreiten, dürfen nicht verwendet werden, und (2) Verzicht auf den Einsatz von bentazonhaltiger PSM.

Darüber hinaus werden weitere Nitrat- oder PSM-bezogenen Maßnahmen gefördert, wie unter anderem die Anschaffung von Stickstoffmessgeräten, Ammoniumdepot-Düngung und stabilisierten Stickstoffdüngern, Nitrifikationshemmer bei frühzeitiger Düngung von Mais und Zuckerrüben, Erweiterung der Lagerkapazität sowie die verstärkte Anwendung von mechanischer Unkrautbekämpfung. Abwechselnd werden jeweils im dreijährigen Rhythmus die Sammlung und Entsorgung alter Pflanzenschutzmittel gefördert, Düngerstreuer-Tests durchgeführt und aktuelle Technik wie z. B. Gülletest mit Nahinfrarotspektroskopie (NIRS-Sensor) vorgeführt. Somit gibt es jedes Jahr eine dieser drei Aktivitäten, die „Kooperationsaktion“ genannt und zu 100% vom Wasserversorger finanziert werden.

Landwirte, deren Flächen zu mehr als einem Drittel im WSG liegen, sind gebeten, eine Hoftorbilanz zu erstellen, die einen Überschuss von 50 kg N/ha (im dreijährigen Durchschnitt) nicht überschreiten soll. Die Intensität der Beweidung soll den wasserwirtschaftlichen Erfordernissen angepasst werden. Es gibt darüber hinaus eine Förderung auf den Hintransport zu und die Lagerung von Wirtschaftsdünger bei externen Höfen.

7.1.8.3 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im WSG Dülken-Boisheim

In der Abbildung 91 werden die jährlichen Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte für das WSG Dülken-Boisheim für den Zeitraum 1994 – 2017 dargestellt.

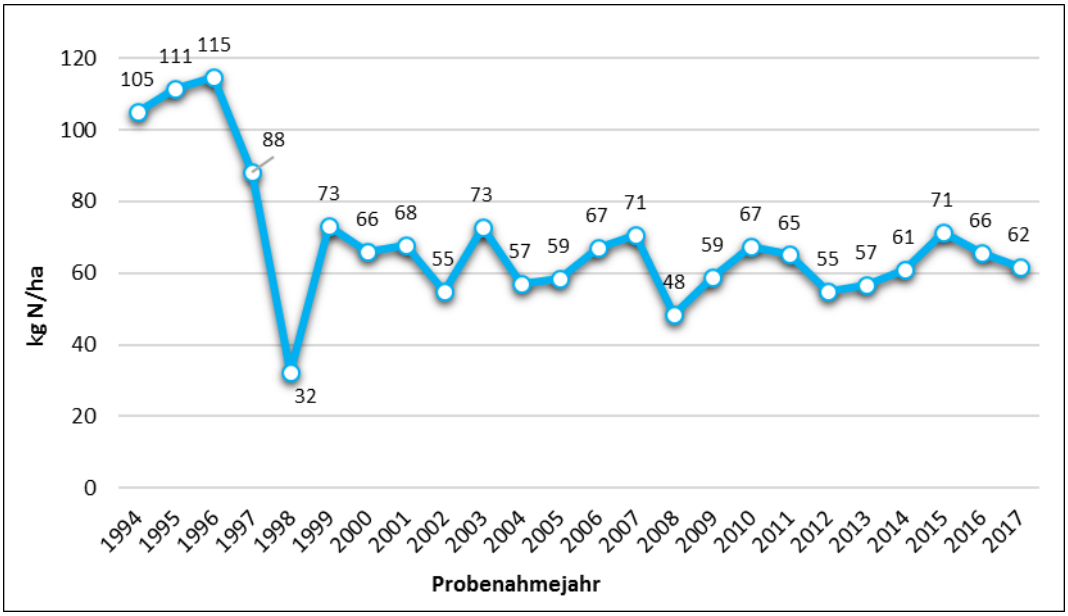


Abbildung 91: Entwicklung Herbst-Nmin WSG Dülken-Boisheim 1994-2017

Im Jahre 1998 kam es wegen sehr hohen Niederschlägen im September zu einer sehr frühen Verlagerung von Nitrat in den Unterboden, aufgrund dessen die Herbst-N_{min}-Werte in diesem Jahr über alle Kulturen hinweg sehr gering waren. Für das Jahr 2003 liegen die Werte etwas höher als im Durchschnitt, was vermutlich mit den Temperaturen und geringen Niederschlägen des „Rekordsommers" zusammenhängt. Auch im Jahr 2015 gibt es einen Anstieg der Kurve, wie auch in benachbarten Gebieten wie Lüttelbracht. Dies könnte dem relativ trockenen Sommer geschuldet sein.

Eine Betrachtung der Herbst-N_{min}-Werte aus Dülken-Boisheim ist besonders interessant, da hier die Entwicklung der Werte fast seit Beginn der Kooperation nachvollzogen werden kann. Besonders in den ersten Jahren der Kooperation ist ein deutlicher Rückgang der Herbst-N_{min}-Werte zu beobachten. Es ist anzunehmen, dass diese Entwicklung auch in anderen Wasserschutzgebieten in ähnlicher Weise in den ersten Jahren der Kooperationsarbeit stattfand. Einen ähnlich gearteten Kurvenverlauf weisen z. B. die Nitratwerte im Grundwasser des WSGs Emmerich-Helenenbusch auf (s. Kapitel 7.2.1).

Nach einer starken Abnahme in den 1990er-Jahren pendelt der Herbst-N_{min}-Durchschnittswert seit dem Jahr 2000 mit einigen Ausnahmen zwischen ca. 55 und 70 kg N/ha. Der Mittelwert für den Zeitraum liegt bei 63 kg N/ha und ist somit als mittelhoch zu betrachten.

Abbildung 92 zeigt den Verlauf der jährlichen Durchschnittswerte nach Kultur im WSG. Hier ist ebenfalls der Effekt des im Jahr 1998 sehr nassen Herbstes auf die Herbst-N_{min}-Werte sehr prägnant zu sehen. Die Grafik zeigt auch auf welchem Niveau die Werte sich in den ersten Jahren der Kooperationsarbeit befanden, mit Grünland, Kartoffeln und Mais weit über 100 kg N/ha im jährlichen Durchschnitt.

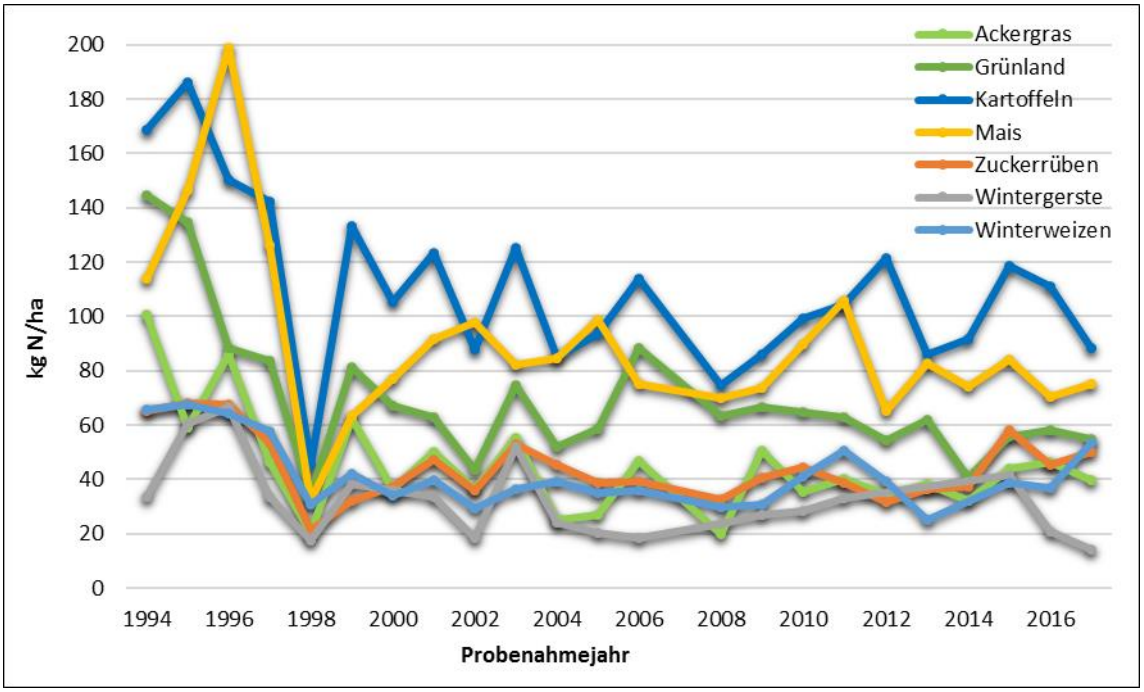


Abbildung 92: Jährliche Durchschnittswerte nach Kultur

Der relative Rückgang im beobachteten Zeitraum für die verschiedenen Kulturen wird in Abbildung 93 dargestellt. Die dreijährigen Mittelwerte (skaliert, Durchschnitt für 1994 – 96 = 100%, ohne Ausreißerjahre 1998 und 2007) lassen erkennen, dass sich die Werte nach einer Anfangsphase von ca. 10 Jahren mit stark abnehmender Tendenz auf einem Niveau zwischen 40-60% des ursprünglichen Levels einpendeln. Bei diesem Niveau scheint die Wirkung des Modells in Anbetracht der landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Anbaumix, Intensität der Landwirtschaft) mehr oder minder ausgeschöpft zu sein.

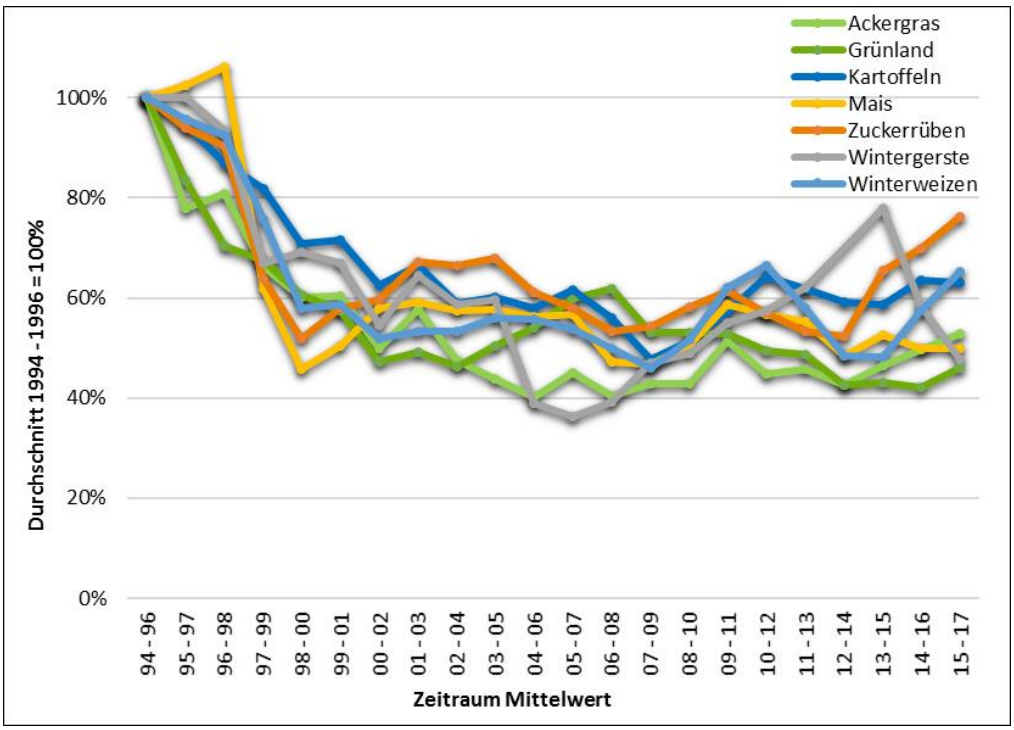


Abbildung 93: Relative Entwicklung dreijähriger Mittelwe- nach Kultur

In der Abbildung 94 sind die Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte des Gesamtgebiets in Abhängigkeit von der Vorfrucht für den Zeitraum 2014 - 2017 abgebildet und spiegeln somit den aktuellen Stand der Kooperationsarbeit wider. Die Werte entsprechen also dem Niveau der letzten vier dargestellten Jahre in Abbildung 92.

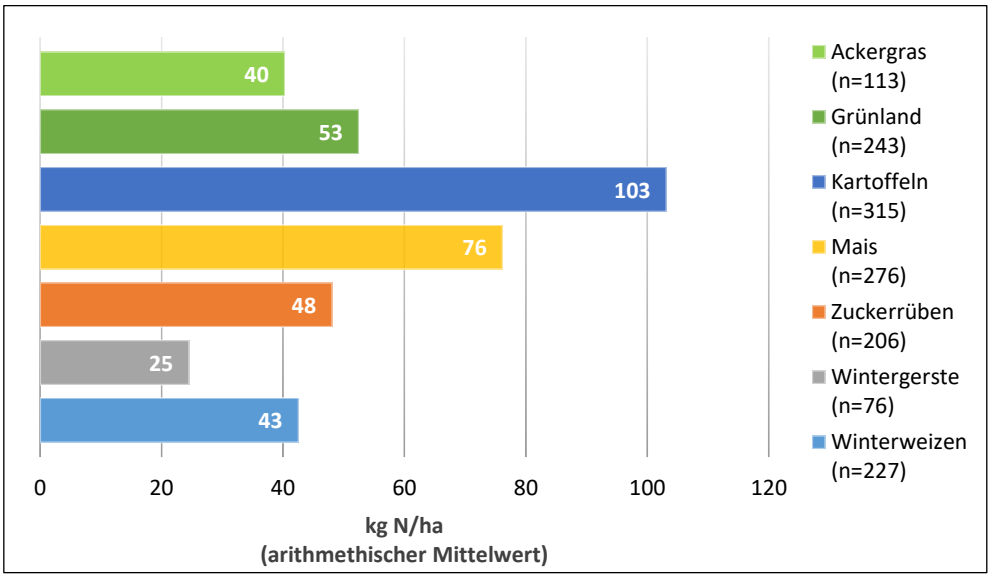


Abbildung 94: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Dülken-Boisheim

Abbildung 94 zeigt, dass die Durchschnittswerte für Ackergras, Grünland, Kartoffeln und Mais für die Jahre 2014-17 vergleichsweise hoch waren, mit guten Werten für Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen.

Bei Ackergras wirkt sich nach Angaben des Beraters eine späte Herbstdüngung negativ auf die Werte aus; die nach Ackergras üblichen Folgekulturen würden die Werte für diese Kultur zusätzlich erhöhen. Auch bei Grünland fallen die Werte höher aus durch eine im Gebiet einigermaßen verbreitete späte Herbstdüngung aufgrund nicht ausreichender Lagerkapazität.

Auffällig ist der hohe Durchschnittswert für Kartoffeln von über 100 kg N/ha. Laut Berater gibt es einen hohen Anteil an Spätkartoffeln im Gebiet, welcher auch aufgrund des Nachernte-Managements die höheren Herbst-N_{min}-Werte für diese Kultur bedingt. Bei den im Gebiet angebauten Frühkartoffeln kommt es auch oftmals vor, dass Gemüse als Zweitfrucht angebaut wird. Aufgrund dessen sind die teilweise sehr hohen Werte auf einigen Kartoffelschlägen zumindest anteilig auch dem Gemüseanbau geschuldet. Insgesamt ist in den letzten Jahren nach Angaben des Beraters die Intensität in Bezug auf einer Zweitfrucht nach früh räumenden Kulturen im WSG gestiegen.

Für Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen sind die Durchschnittswerte vergleichsweise gut. Der deutliche Unterschied von fast 20 kg N/ha zwischen den Durchschnittswerten für Wintergerste und Winterweizen hängt mit den im Gebiet üblichen Fruchtfolgen zusammen. Wie in Abbildung 95 zu sehen sind die Werte für beide Getreidearten je nach Folgefrucht vergleichbar – sie sind bei Wintergersteflächen sogar leicht höher für die einzelnen Kulturen im dargestellten Zeitraum. Allerdings wird nach Wintergerste sehr selten Wintergetreide angebaut, wohingegen nach Winterweizen dies etwas häufiger der Fall ist (s. n-Zahlen in der Abbildung), z. B. bei Schlägen, auf denen die dreigliedrigen Fruchtfolgen Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste und Kartoffeln-Winterweizen-Wintergerste angebaut werden. Diese Tatsache bedingt den höheren Durchschnittswert von Winterweizen im Vergleich zur Gerste.

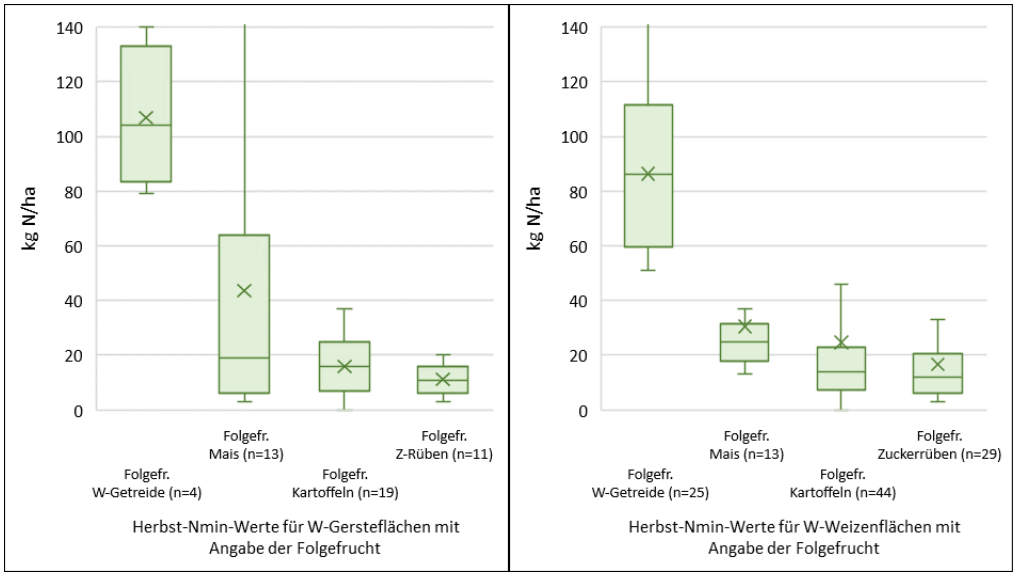


Abbildung 95: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Wintergerste bzw. Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres nach nachfolgenden Kulturen

Die Werte bei nachfolgendem Wintergetreide sind wie zu erwarten signifikant höher als bei nachfolgender Sommerung, vor welcher der Anbau einer Zwischenfrucht möglich ist, die die Herbst-N_{min}-Werte senkt. Für Getreideflächen mit nachfolgenden Sommerungen liegen fünf der sechs in Abbildung 95 dargestellten Medianwerte unter 20 kg N/ha, sie sind also auf einem sehr niedrigen Niveau.

In Abbildung 96 werden die Herbst-N_{min}-Werte für Kartoffelflächen (Durchschnittswert Herbst-Nmin = 103 kg N/ha 2014-17) und Maisflächen (Durchschnittswert Herbst-Nmin = 76 kg N/ha 2014-17) nach Art der Folgefrucht gruppiert. Die Abbildung verdeutlicht, dass bei Kartoffeln die Flächen mit Folgekultur Wintergetreide und Ackergras eine bedeutende Rolle dabei spielen, dass der Durchschnittswert für diese Kultur bei über 100 kg N/ha liegt. Im Vergleich liegen bei Maisflächen die Mediane für Ackergras 30 kg N/ha niedriger, für Wintergetreide sind die Werte sogar mehr als 50 kg N/ha geringer. Dieser Unterschied könnte zum Teil mit dem in der Vergangenheit fehlenden (mittlerweile jedoch existierenden) Verbot der Düngung nach Kartoffeln zusammenhängen.

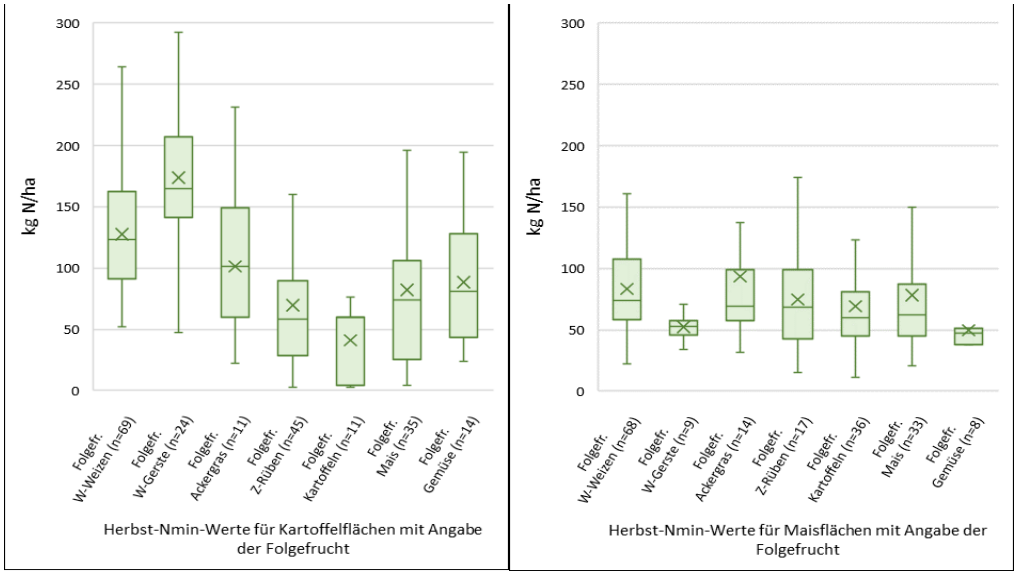


Abbildung 96: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Kartoffeln bzw. Mais als Hauptfrucht des Probenahmejahres bei untersch. nachfolgenden Kulturen – WSG Dülken-Boisheim (2014-2016)

Abbildung 97 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit den im WSG Dülken-Boisheim erreichten Werten für die Maßnahmen „Prämienförderung“ anhand unterschiedlicher Kulturen. Aus dem Unterschied dieser Werte lässt sich eine Schätzung der Maßnahmenwirkung ableiten.

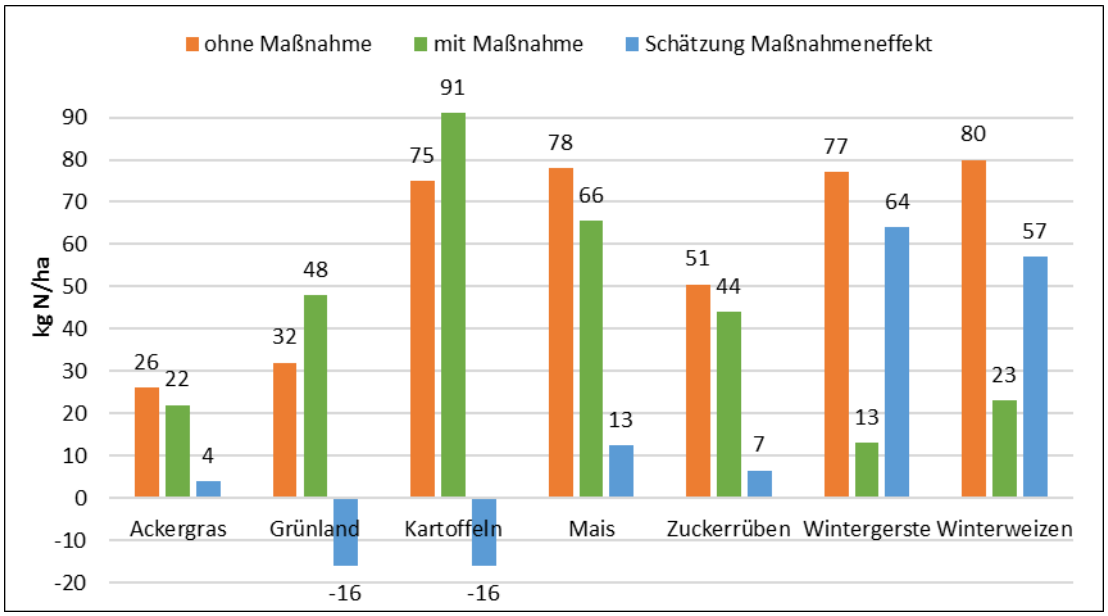


Abbildung 97: Schätzung der Maßnahmenwirkung des Prämien- und des Beratungsgebiets in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres (Mediane)

Bei der Betrachtung der Maßnahmeneffekte, bei denen die Mediane und nicht die Mittelwerte eingehen, zeigt sich ein besseres Bild als bei der Betrachtung der Mittelwerte in Abbildung 94. Insbesondere die Mediane von Ackergras und Wintergetreide liegen weit unter den Mittelwerten. Bei Wintergetreide hängt dies mit den zwei Gruppen von Werten, einmal mit Folgefrucht Wintergetreide, einmal mit Folgefrucht Sommerung zusammen (s. Abbildung 95). Da die n-Zahl der ersten Gruppe geringer ist als die der zweiten, liegt der Medianwert auf dem Niveau der zweiten Gruppe (Wintegetreideflächen mit nachfolgender Sommerung).

Im Median lässt sich eine sehr hohe Maßnahmenwirkung für die Maßnahme „Prämienförderung“ für Wintergetreide von um die 60 kg N/ha schätzen. Die geschätzte Wirkung für Mais und Zuckerrüben ist mit rund 10 kg N/ha signifkant geringer. Die geschätzte Wirkung für Ackergras liegt bei rund 5 kg N/ha. Bei Grünland und Kartoffelflächen liegen die Mediane jeweils über den Kontrastwerten und es lassen sich daher mit den hier zugrundeliegenden Daten keine positiven Maßnahmeneffekte aufzeigen.

7.1.8.4 Zusammenfassende Auswertung

Im WSG Dülken-Boisheim nahmen die durchschnittlichen Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Kooperationsarbeit sehr stark ab und haben sich seit dem Jahr 2000 auf einem stabilen Niveau eingependelt. Für die letzten 20 Jahre liegen die flächengewichteten Mittelwerte auf einem stabilen, mittelhohen Niveau: seit dem Jahr 2000 zwischen 55 und 70 kg N/ha mit einem Durchschnitt von 63 kg N/ha.

Die Durchschnittswerte nach Kultur für das WSG Dülken-Boisheim im Zeitraum 2014-17 liegen für viele Kulturen im Mittelfeld, für die Problemkulturen Mais und Kartoffeln sind sie relativ hoch. Die Erfolge der Kooperationsarbeit sind trotz alledem deutlich zu beobachten. Zum einen ist die Entwicklung der Herbst-N_{min}-Werte im WSG über die letzten 25 Jahre sehr eindeutig (Abbildung 91). Darüber hinaus zeigt die Analyse der Herbst-N_{min}-Werte z. B. für Wintergetreide sehr niedrige Werte für Flächen mit nachfolgenden Sommerungen (Abbildung 95), was auf hervorragende Ergebnisse beim Anbau von Zwischenfrüchten schließen lässt. Auch die Schätzung der Maßnahmenwirkung, in der Mediane nach Kultur mit den Medianen von Flächen ohne Maßnahme verglichen werden (die allerdings die landwirtschaftliche Intensität nicht mitberücksichtigen können) ergibt eine geschätzte Wirkung der Prämienförderung, die für die Mehrzahl der untersuchten Kulturen positiv ausfällt.

Bei gewissen Kulturübergängen, die höhere Werte aufweisen, ist die Ursache dieser höheren Werte nicht zu ermitteln. Die Werte für Getreideflächen mit Folgefrucht Wintergetreide sind mit Werten über 80 kg N/ha höher als in anderen Gebieten. Denkbar ist, dass dies mit einer vergleichsweisen starken organischen Düngung im WSG zusammenhängen könnte, die zu höheren Mineralisationsschüben nach einer Herbstbestellung führt. Eine Rolle könnte auch eine Düngung zu Wintergetreide im Herbst spielen. Ähnliches gilt für Kartoffelflächen mit nachfolgender Kultur Wintergetreide (s. Abbildung 96).

Generell sind die Rahmenbedingungen für geringe Herbst-N_{min}-Werte im WSG Dülken-Boisheim zwar ungünstig, jedoch nicht ganz so ungünstig wie in anderen untersuchten Kooperationen. Zum relativ hohen Anteil an Problemkulturen und Kartoffeln kommen relativ hohe GVE/ha-Zahlen in der Region und die Nähe zur niederländischen Grenze, die in den vergangenen Jahren zu sehr hohen Gülleimporten im Landkreis führte. Dementsprechend liegen die modellierten Bilanzüberschüsse der zwei Gemeinden in der zweithöchsten Klasse (Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017). In Anbetracht der landwirtschaftlichen Intensität um das WSG herum und die vergleichsweise geringen Prämien in der Kooperation, die als finanzieller Anreiz für Landwirte nur eine begrenzte Wirkung entfalten können, sind die Erfolge der Kooperationsarbeit also durchaus als maßgeblich einzuschätzen.

7.1.9 Weiler

7.1.9.1 Eckdaten Wasserschutzgebiet und Kooperationsarbeit

Das WSG Weiler liegt linksrheinisch im Norden der Metropole Köln und grenzt in Richtung Osten an den Rhein. Mit 125,3 km2 ist es eins der größten in dieser Studie untersuchten WSG und durch einen hohen Anteil von ca. 50% an Siedlungsfläche gekennzeichnet. Etwas weniger als die Hälfte seiner Fläche liegt innerhalb der Grenzen der kreisfreien Stadt Köln, der etwas größere Teil des WSG liegt auf dem Gebiet des Rhein-Erft-Kreises mit Siedlungsräumen wie der Stadt Pulheim. Knapp unter 40% seiner Fläche ist landwirtschaftliche Nutzfläche.

Die Zusammenarbeit zwischen Landwirten und Wasserversorger begann in 1986, noch vor Verabschiedung des 12-Punkte-Programms. Sie wird vom Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden e.V. durchgeführt.

Die untenstehende Auswertung beruht auf einem Datensatz von Herbst-N_{min}-Werten für 107 Flächen im WSG Weiler, die im Zeitraum 2005 - 2016 erhoben wurden, und die nur einen Teil der landwirtschaftlichen Flächen im WSG abdecken. Dem Gutachter stehen insgesamt 1119 einzelne Datensätze für diese Flächen zur Verfügung, im Durchschnitt also Angaben für 10,5 Jahre je Fläche. Für 80 der 107 Flächen wurden die vollständigen Zeitreihen (12 Jahre) übermittelt. Zu den N_{min}-Werten selber (aufgeteilt für Nitratstickstoff in die Horizonte 0-30 cm / 30-60 cm / 60-90 cm, mit Angabe des Ammoniumstickstoffs für den Horizont 0-30 cm) und der Angabe zur Hauptfrucht im Probenahmejahr wird auch der Zustand der Fläche zum Probenahmetermin (z. B. Brache, Zwischenfrucht, Folgekultur) dokumentiert. Aus den Zeitreihen für die einzelnen Flächen ließen sich in vielen Fällen auch Folgekultur und somit Art der Fruchtfolge ermitteln. Aus Datenschutzgründen wurden dem Gutachter weder personenbezogene Daten noch Angaben zur Flächengröße der einzelnen Schläge übermittelt.

Auf Basis des beschriebenen Datensatzes lässt sich eine Schätzung der Wirkung der im WSG umgesetzten Zwischenfruchtmaßnahmen und eine grobe Schätzung der Wirkung für die gesamte Kooperationsarbeit auf den im Datensatz enthaltenen Flächen durchführen.

Für die Schläge im übermittelten Datensatz wird in Abbildung 98 die Fruchtartenverteilung (nicht flächengewichtet aufgrund fehlender Angaben zur Flächengröße) über die Zeit dargestellt. Diese Fruchtartenverteilung ist als indikativ für das WSG zu verstehen, da es sich um eine Auswahl der Schläge handelt, für die es zudem keine Größenangaben gibt. Somit muss jede Fläche als gleichwertig gezählt werden. Darüber hinaus gibt es im übermittelten Datensatz keine Daten zu Grünlandflächen, da diese Flächen im WSG nur extensiv bewirtschaftet werden.

Trotzdem lassen sich wichtige Kenngrößen der Landwirtschaft im WSG aus Abbildung 98 herauslesen. In roten Farben werden potentielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr dargestellt: Mais, Kartoffeln und Gemüse. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Zuckerrüben, Wintergerste, Winterweizen und Ackergras. Winterraps wird hellgrün dargestellt, alle weiteren

Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst. Für eine jährlich stark variierende Anzahl von Flächen enthielt der Datensatz keine Angaben zur Hauptfrucht des Probenahmejahres, diese werden grau schraffiert als „unbekannt“ dargestellt.

Aus den in Abbildung 98 dargestellten Daten ist auf einen geringen Anteil an sogenannten „Problemkulturen“ (Mais, Kartoffeln, Winterraps, Gemüse) im WSG zu schließen.

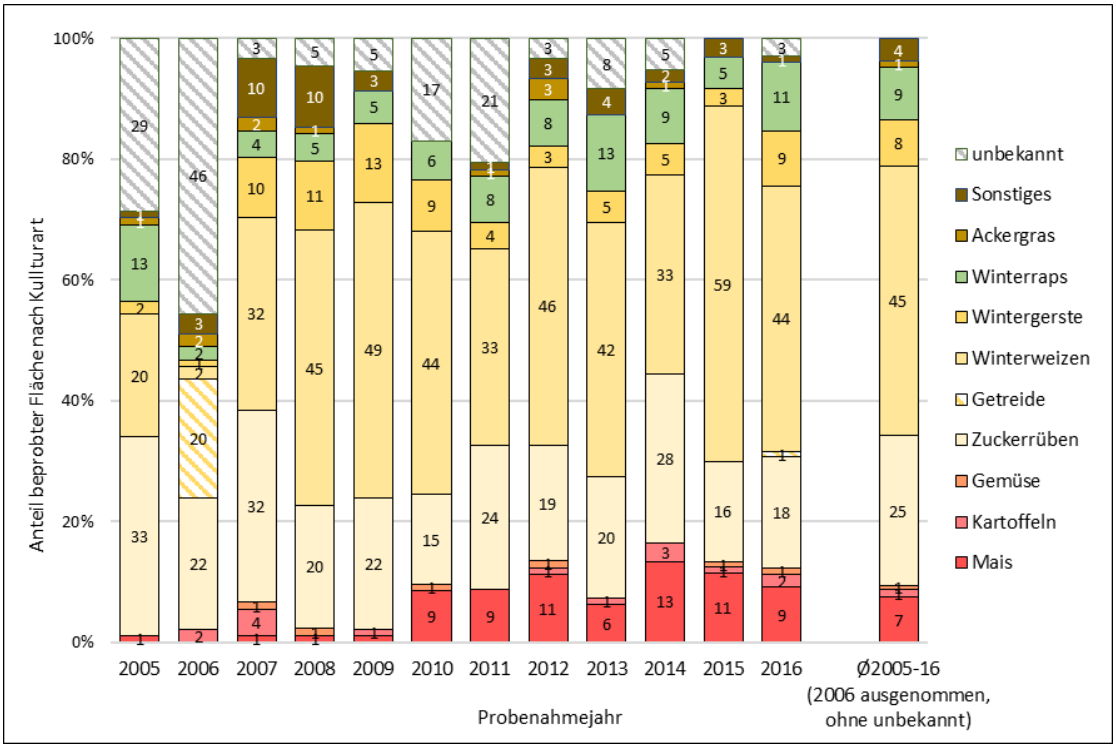


Abbildung 98: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – WSG Weiler (Zeitraum 2005 - 2016)

Allerdings deutet sich eine gewisse Vergrößerung des Maisanteils an, der vor 2009 bei 1-2% der Schläge lag und danach bei durchschnittlich fast 10%. In manchen Jahren werden auf ca. 25% der Flächen Zuckerrüben angebaut, was zu einem Anteil der Sommerungen von ca. 35% (mit Ausnahme der Jahre 2008 - 2010) führt. Der Anteil von Winterweizen an den landwirtschaftlichen Flächen im Datensatz liegt in der Regel zwischen 40 und 50% und ist somit recht hoch. Der Anteil der Wintergerste liegt bei durchschnittlich 8% und der von Winterraps bei 9%. Diese Daten spiegeln die im Gebiet üblichen Fruchtfolgen wieder: Im Datensatz sind sowohl die klassische Rheinische Fruchtfolge (Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste) wie auch die Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Winterweizen und weitere Varianten, z. B. mit Winterraps (Zuckerrüben-Winterweizen-Winterraps-Winterweizen) häufig vertreten. Wie schon erwähnt sind diese Anteile als indikativ zu verstehen, da der Datensatz nicht das gesamte WSG abbildet. Sie sind nichtsdestotrotz vergleichbar mit den Daten aus der Kooperation zu den Flächenanteilen nach Kultur, die im Herbst 2015 z. B. 30 % Getreide in einer Felderfolge mit Getreide ausweist (22 % Getreide nach Zuckerrüben, 6 % Getreide nach Winterraps sowie 6% Mais, 6% Winterraps, 4% Brache, 22% Zwischenfrucht nach Kölner Mulchsaatverfahren und 4% sonstige Feldfrüchte; Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden, 2016).

Die Intensität der Landwirtschaft um das WSG Weiler herum kann als moderat hoch eingestuft werden. Die Viehbesatzzahlen (GVE/ha LNF) der relevanten Gemeinden sind zwar niedrig, trotzdem wurden im Rahmen des GROWA+ NRW2021 Projekt N-Bilanzüberschüsse modelliert, die im WSG Weiler zur zweithöchsten und zur höchsten Klasse gehören (Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“ und „größer als 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017).

Den Gutachtern liegen grundsätzliche Angaben zur Vorgehensweise in der Kooperation vor, aber keine detaillierten Angaben zu den verfolgten Ansätzen und Maßnahmen. Der übermittelte Herbst-N_{min}-Datensatz und die Jahresberichte der Kooperation lassen auf die Umsetzung folgender Maßnahmen schließen:

- Anbau Zwischenfrucht im Kölner Mulchsaatverfahren / konventionell
- Anbau 60-Tage-Zwischenfrucht (vor Winterweizen).
- Herbst-N_{min}-Untersuchungen
- N_{min}-Nachuntersuchungen (Monat Mai)
- Düngebedarfsprognose (Monat März)

7.1.9.2 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im WSG Weiler

In Abbildung 99 wird der jährliche Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für den Datensatz dargestellt.

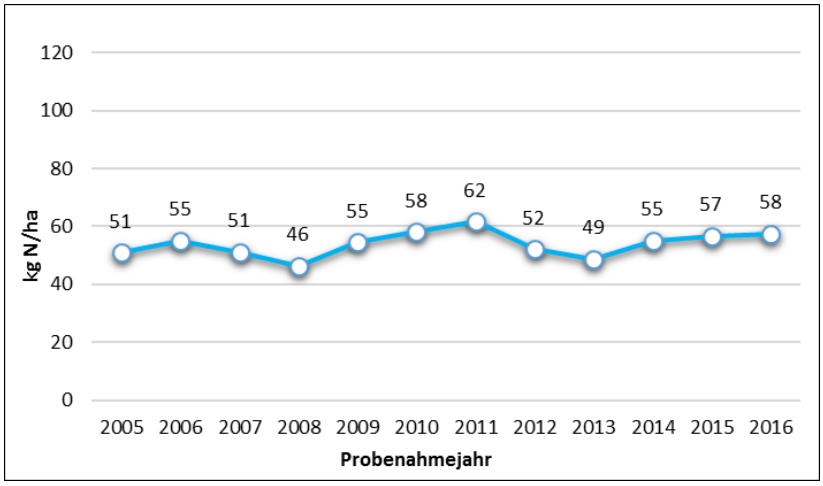


Abbildung 99: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Datensatz WSG Weiler

Der Durchschnitt über alle untersuchten Jahre für den Datensatz liegt bei 54 kg N/ha. Dieser Wert deutet auf erhebliche Erfolge der Kooperationsarbeit hin. Seit dem Jahr 2013 ist eine leichte Steigung der Herbst-N_{min}-Werte im Datensatz zu beobachten, die auch in einem Jahresbericht der Kooperation thematisiert wird (Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden, 2016).

Abbildung 100 fasst die Herbst-N_{min}-Werte nach Vorfrucht (Hauptfrucht des Probenahmejahres) für die letzten dem Gutachter zur Verfügung stehenden Jahre der Kooperationsarbeit zusammen (2014-2016, Abweichung gekennzeichnet), und spiegelt somit den Stand der Kooperationsarbeit wider.

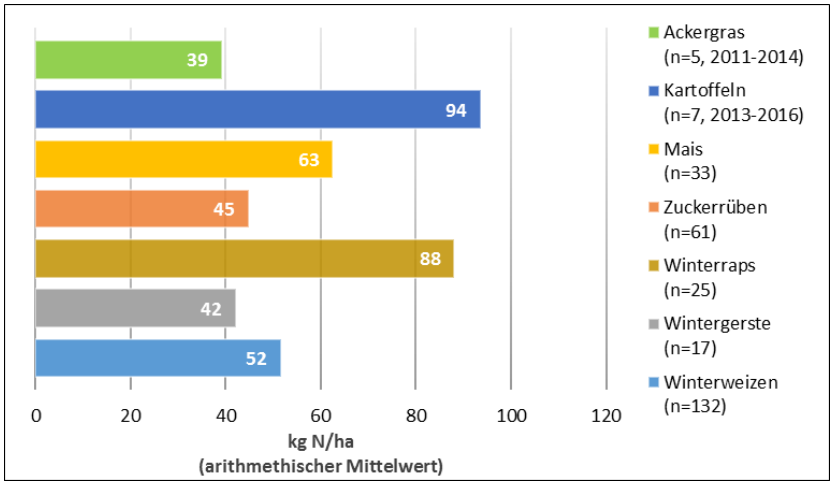


Abbildung 100: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert je Hauptfrucht des Probenahmejahres – Datensatz WSG Weiler

Der Winterweizen, die wichtigste Kultur im Datensatz, erreicht mit einem Durchschnittswert von 52 kg N/ha nicht so geringe Werte wie in anderen Gebieten. Dies hängt mit den im Gebiet üblichen Fruchtfolgen zusammen (s. weiter unten). Flächen mit Zuckerrüben und Mais erreichen dagegen recht gute Werte von 45 bzw. 63 kg N/ha im Durchschnitt. Der Winterraps zeigt mit einem Durchschnittswert von 88 kg N/ha für diese Kultur übliche Werte: Aufgrund der leicht zersetzbaren Ernterückstände, die in und auf dem Boden bleiben und die im Spätsommer und Herbst hohe Mengen an Stickstoff freisetzen können, liegen die Herbst-N_{min}-Werte für diese Kultur oft in dieser Größenordnung. Wie angesprochen wird der Durchschnittswert für Weizen von den im Gebiet üblichen Fruchtfolgen geprägt. In der Abbildung 101 werden die Herbst-N_{min}-Werte für Winterweizen für die wichtigsten nachfolgenden

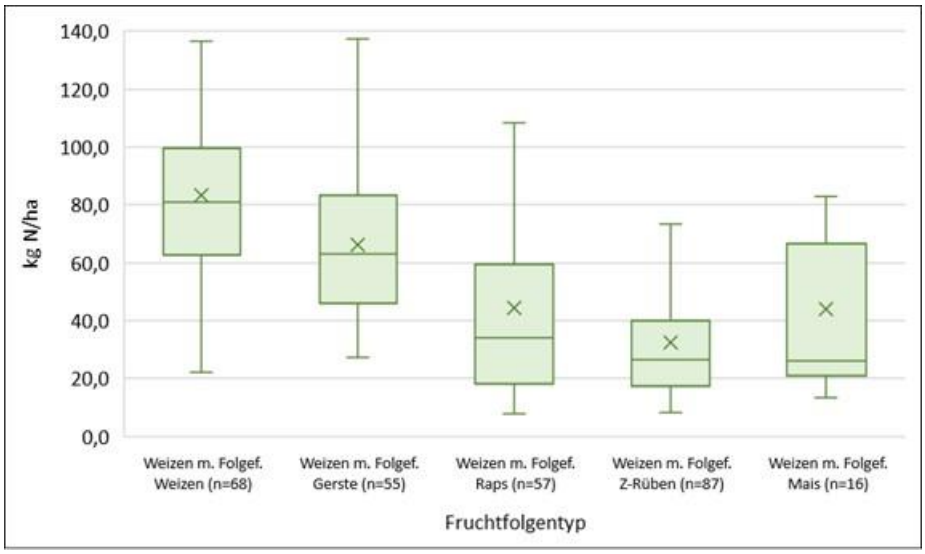


Abbildung 101: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres pro nachfolgender Kultur – WSG Weiler

Kulturen zusammengefasst. Die Werte für kleinere Teilmengen unterschiedlicher Folgefrüchte (Flächen mit einer 60-Tage-Zwischenfrucht mit Folgefrucht Winterweizen und Flächen ohne Zwischenfrucht bei Weizen mit Folgefrucht Zuckerrüben und Mais) wurden abgezogen.

Der Mittelwert von Winterweizenflächen mit Folgefrucht Winterweizen liegt bei über 80 kg N/ha. Dies zeigt, dass die Stickstoffaufnahme von Winterweizen vor dem Winter sehr begrenzt ist. Der Unterschied zur Wintergerste, die etwas mehr Stickstoff im Herbst aufnehmen kann, ist in der Graphik zu erkennen – trotzdem liegt der Mittelwert bei Weizenflächen mit Folgefrucht Wintergerste über 60 kg N/ha. Dagegen kann Winterraps im Herbst wie auch im Rest seiner Vegetationsphase hohe Mengen an Stickstoff aufnehmen, was zu einem Mittelwert von leicht über 40 kg N/ha im Datensatz vom WSG Weiler führt. Allerdings sind, wie oben schon angesprochen, die Herbst-N_{min}-Werte im darauffolgenden Jahr für diese Kultur, also nach der Winterrapsernte, vergleichsweise hoch. Wie zu erwarten, sind die niedrigsten Werte im WSG jene für Flächen mit nachfolgender Sommerung, auf denen im Herbst nach Angaben des Beraters in über 90% der Fälle eine Zwischenfrucht angebaut wird.

Der Mittelwert von Winterweizenflächen mit Folgefrucht Winterweizen (sog. Stoppelweizen) liegt über 80 kg N/ha. Dies verdeutlicht, dass die Stickstoffaufnahme von Winterweizen vor dem Winter sehr begrenzt ist. Der Unterschied zur Wintergerste, die etwa 20 kg N/ha mehr Stickstoff im Herbst aufnehmen kann, ist in der Graphik zu erkennen – trotzdem liegt der Mittelwert bei Weizenflächen mit Folgefrucht Wintergerste bei über 60 kg N/ha. Dagegen kann der Winterraps im Herbst wie auch im Rest seiner Vegetationsphase hohe Mengen an Stickstoff aufnehmen, was zu einem Durchschnittswert von leicht über 40 kg N/ha im Datensatz des WSG Weiler führt. Allerdings sind, wie oben schon angesprochen, die Herbst-N_{min}-Werte im darauffolgenden Jahr für diese Kultur, also nach der Winterrapsernte, vergleichsweise hoch. Wie zu erwarten, sind die niedrigsten Werte im WSG für Flächen mit nachfolgender Sommerung, auf denen im Herbst nach Angaben des Beraters in über 90% der Fälle eine Zwischenfrucht angebaut wird. Die folgende Tabelle stellt die Häufigkeit der unterschiedlichen Kulturübergänge dar, in denen Weizen als Vorfrucht fungiert.

Tabelle 10: Kulturübergänge mit Vorfrucht Weizen im WSG Weiler (ohne unbekannt)

Kulturübergang	Anzahl der Flächen mit Kulturübergang	Prozentualer Anteil (n=354)
Winterweizen mit Folgefrucht Zuckerrüben	106	29,9%
Winterweizen mit Folgefrucht Winterweizen	86	24,3%
Winterweizen mit Folgefrucht Winterraps	57	16,1%
Winterweizen mit Folgefrucht Wintergerste	55	15,5%
Winterweizen mit Folgefrucht Mais	23	6,5%
Winterweizen mit Folgefrucht Winterhafer	8	2,3%
Winterweizen mit Folgefrucht Kartoffeln	6	1,7%
Winterweizen mit Folgefrucht Gemüse	4	1,1%
Winterweizen mit Folgefrucht Getreide	3	0,8%
Winterweizen mit Folgefrucht Ackergras	2	0,6%
Winterweizen mit Folgefrucht Sommergerste	2	0,6%

In Tabelle 10 ist zu sehen, dass von den sechs wichtigsten Kulturübergängen mit Vorfrucht Winterweizen, vier eine Winterung als Folgefrucht haben. Zusammen mit den in Abbildung 101 dargestellten Unterschieden zwischen Kulturen verdeutlicht die Tabelle die Bedeutung, die die in einem WSG üblichen Fruchtfolgen für die erreichten Durchschnittswerte einzelner Kulturen haben können – und somit für die durchschnittliche Nitratbelastung der Böden in einem WSG. Zwei Gebiete, die im Durchschnitt ähnliche Herbst-N_{min}-Werte für die jeweiligen Fruchtfolgeglieder erreichen, können aufgrund ihrer unterschiedlichen Häufigkeit unterschiedliche Mittelwerte für die gleiche Kultur aufweisen und somit eine bedeutsam abweichende Stickstoffbelastung für das WSG insgesamt. Im WSG Zündorf, in dem der Anteil an Winterungen höher liegt und die wichtigsten Vorfrüchte von Weizen Weizen (40%) und Gerste (27%) sind, ist der Durchschnittswert für Winterweizen entsprechend 16 kg N/ha höher, bei vergleichbaren Werten für die einzelnen Kulturübergänge (vgl. Kapitel 7.1.10).

Dagegen können in Gebieten mit einem höheren Anteil an Sommerungen nach Winterweizen niedrigere Durchschnittswerte für diese Kultur erreicht werden. Abbildung 102 illustriert, anhand des Anteils an Sommerungen bzw. Winterungen nach Winterweizen für die Wasserschutzgebiete Weiler und Hartefeld, wie bedeutsam diese Unterschiede sein können. Im WSG Hartefeld wird auch aufgrund dieses Zusammenhangs ein sehr niedriger Durchschnittswert von 25 kg N/ha erreicht.

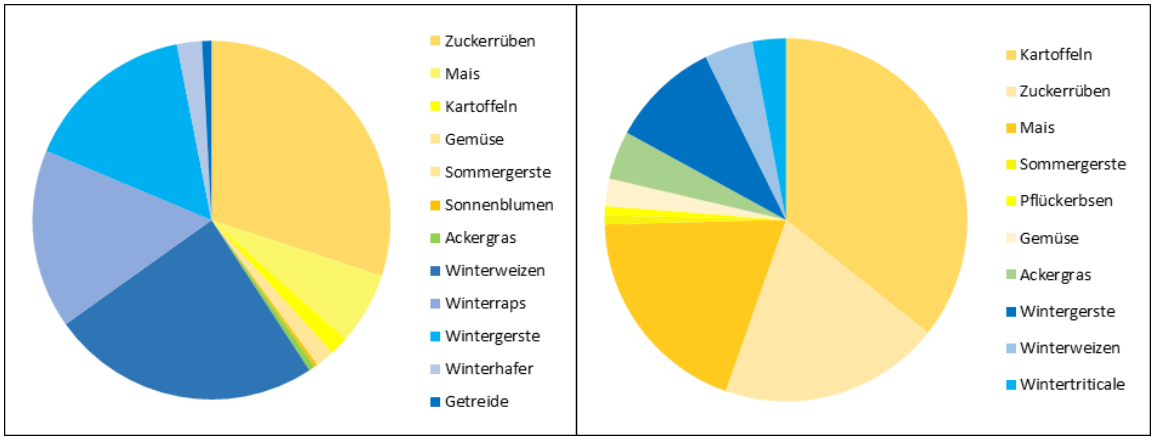


Abbildung 102: : Folgefrucht nach Winterweizenflächen im WSG Weiler (links, 2005-2016) und Hartefeld (rechts, 2008-2017).

Die Fruchtfolgen der einzelnen Flächen im Datensatz lassen aus Sicht des Gewässerschutzes nicht ganz günstige Bedingungen erkennen, insbesondere aufgrund der hohen Anteile an Winterungen und dem oben erwähnten Anteil an Sommerungen von ca. 35%. Das Potenzial einer Förderung, die auf die Optimierung der Fruchtfolgen aus Perspektive des Grundwasserschutzes abzielt, ist im WSG Weiler deutlich erkennbar, wenn auch etwas weniger hoch als im WSG Zündorf. Dieses Potenzial wurde auch in einer Studie der RheinEnergie untersucht. Die Studie kam allerdings zum Schluss, dass eine Festlegung auf eine bestimmte, mehrjährige Fruchtfolge für den Landwirt nicht unproblematisch sei. Die Studie stellt fest: „Grundsätzlich ist es für den Landwirt aber problematisch, sich auf eine bestimmte Fruchtfolge festzulegen, da er dann nicht mehr flexibel auf die Anforderungen des Marktes reagieren kann“ (RheinEnergie, 2010). Die Maßnahme „Optimierung der Fruchtfolge“ wurde in den Kooperationen der RheinEnergie untersucht, aber bisher nicht gefördert (vgl. auch Kapitel 7.1.10).

Abbildung 35 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte für Flächen mit Hauptfrucht Wintergerste und Winterweizen im Probenahmejahr, mit Zwischenfrucht (im Mulchsaatverfahren) und ohne (brachliegende Flächen).

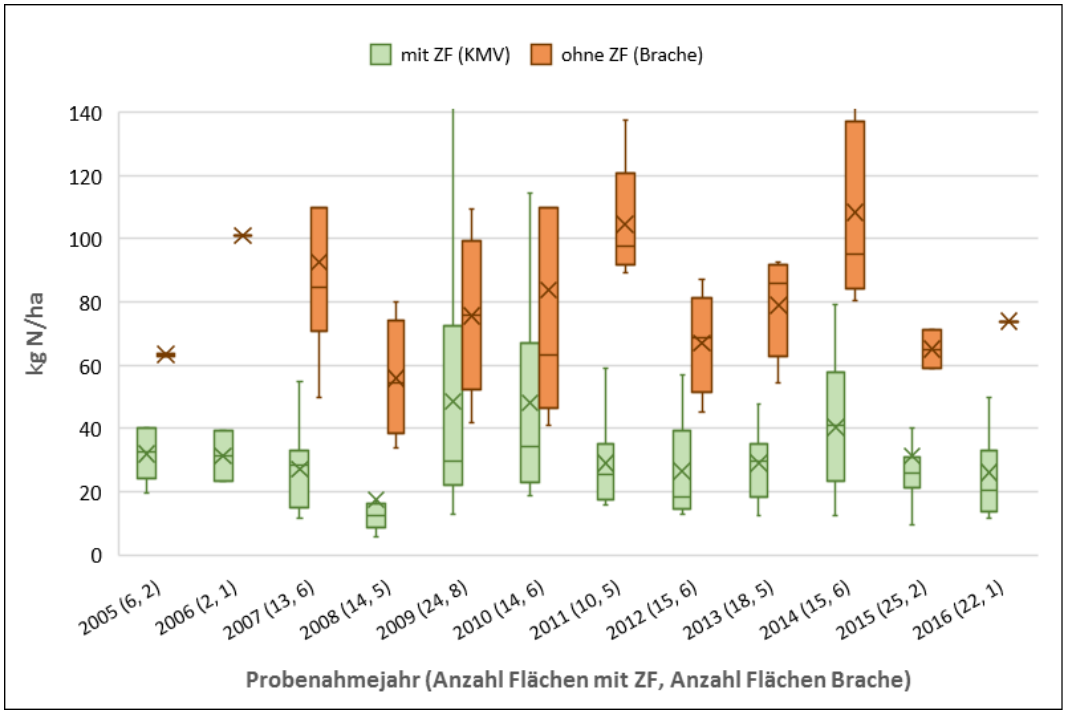


Abbildung 103: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte für Schläge mit Winterweizen und Wintergerste als Hauptfrucht des Probenahmejahres und nachfolgender Sommerung, mit Zwf. (KMV) und brachliegend – WSG Weiler (2005 – 2016).

In dieser Analyse wurden die Werte für diese zwei Getreidearten zusammengelegt, da sie für ähnliche Kulturübergänge (also z. B. Wintergetreide nach Wintergetreide, Sommerung nach Wintergetreide) ähnliche Werte aufweisen. Die Abbildung zeigt die jahresabhängigen Schwankungen der Herbst-N_{min}-Werte für beide Arten von Flächen. Auch der Unterschied zwischen diesen zwei Gruppen von Werten zeigt deutliche jährliche Schwankungen. Abbildung 36 stellt diesen Unterschied dar.

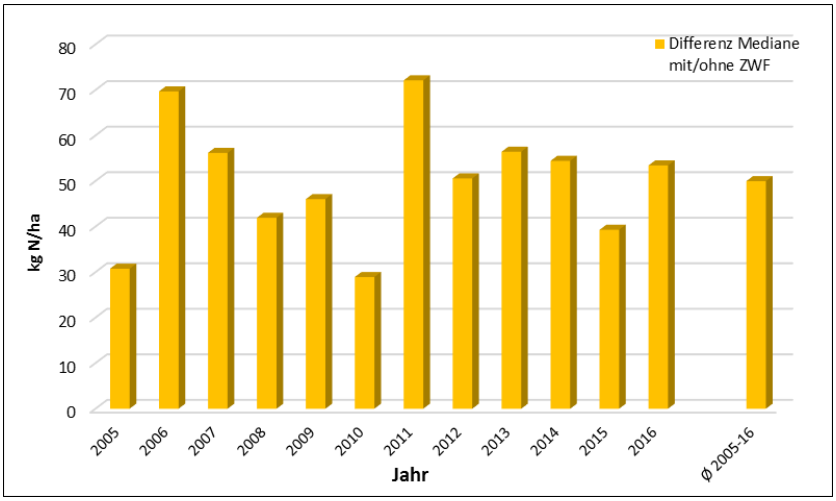


Abbildung 104: Unterschied zwischen Medianen der Grundmengen Getreideflächen mit Zwischenfruchtanbau (KMV) / ohne Zwischenfruchtanbau pro Jahr – WSG Weiler (2005-16)

Die in Abbildung 36 dargestellten Unterschiede liegen je nach Jahr zwischen 30 und 70 kg N/ha. Diese Schwankungen sind das Ergebnis zahlreicher Faktoren, insbesondere des jahresabhängigen Unterschieds in der N-Aufnahmefähigkeit der Zwischenfrüchte (LWK NRW 2017c). Der Durchschnittswert für die jährlichen Unterschiede liegt bei 49,9 kg N/ha und wird als Schätzung für die durchschnittliche Wirkung der Maßnahme Zwischenfruchtanbau im Mulchsaatverfahren im WSG Weiler postuliert. Der Zwischenfruchtanbau mit diesem Verfahren ist in der Kooperation weit verbreitet: Laut Berater werden ca. 90 - 100% der potenziellen Flächen in der Kooperation mit Zwischenfrüchten angebaut, davon ca. 90% nach dem Kölner Mulchsaatverfahren. Die beträchtliche Minderungswirkung könnte zum Teil mit einem Anstieg der Herbst-N_{min}-Werte für Schwarzbrachen im Zeitraum 2005-2014 in Verbindung stehen, die auf einen verstärkten Einsatz von organischen Düngemitteln und auf den verstärkten Rapsanbau im WSG zurückgeführt wird (AK Ackerbau und Wasser 2012).

In der Abbildung 105 werden die Herbst-N_{min}-Werte für Flächen mit und ohne Zwischenfrucht für eine „kurze“ (60-Tage) Zwischenfrucht verglichen, die zwischen zwei Winterungen angebaut wird.

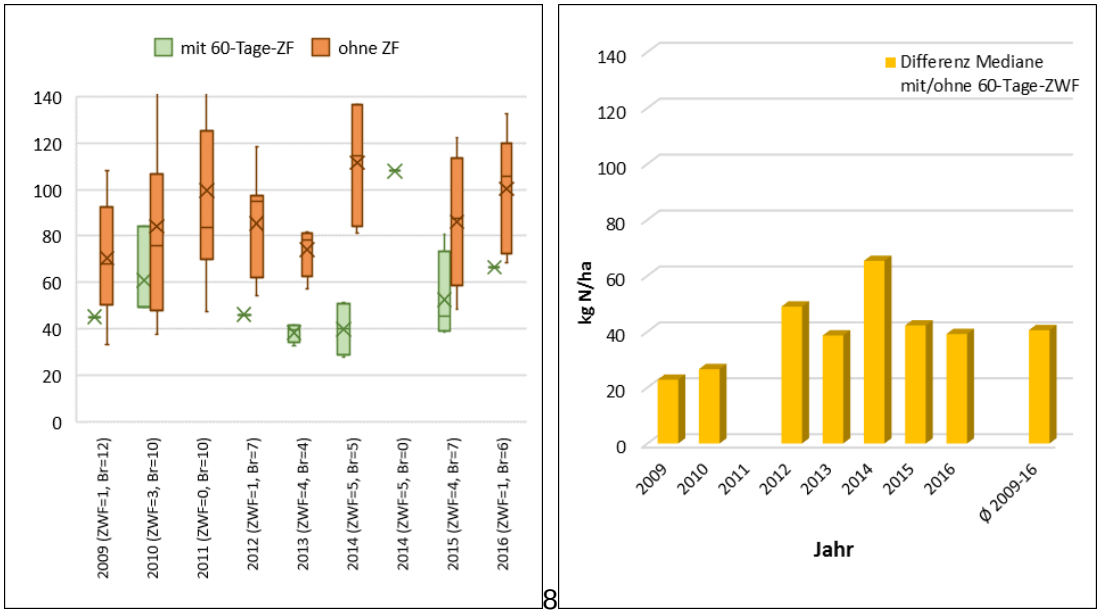


Abbildung 105: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit und ohne Zwischenfrüchte für eine kurze („60-Tage“) Zwischenfrucht

Die Werte für Wintergetreideflächen, auf denen vor der Aussaat von Winterweizen eine 60-Tage-Zwischenfrucht angebaut wurde, sind im mehrjährigen Durchschnitt 40 kg N/ha niedriger als für Flächen ohne Zwischenfrucht (s. rechte Säule in Abbildung 105). An der relativ geringen Zahl der Beobachtungen lässt sich auch die Tatsache erkennen, dass diese Maßnahme noch nicht breitflächig umgesetzt wird. Nach Angaben des Beraters wird sie derzeit auf ca. 10 -20% der potenziellen Flächen implementiert.

Abbildung 106 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte (Mediane) für Flächen, auf denen eine ordnungsgemäße Landwirtschaft ohne Gewässerschutzmaßnahmen durchgeführt wird, mit den Flächen im WSG Weiler nach Kultur.[25] Es wird in der Abbildung eine Schätzung der Wirkung für die Kooperationsarbeit als Ganzes dargestellt, unterschieden nach Kulturen.

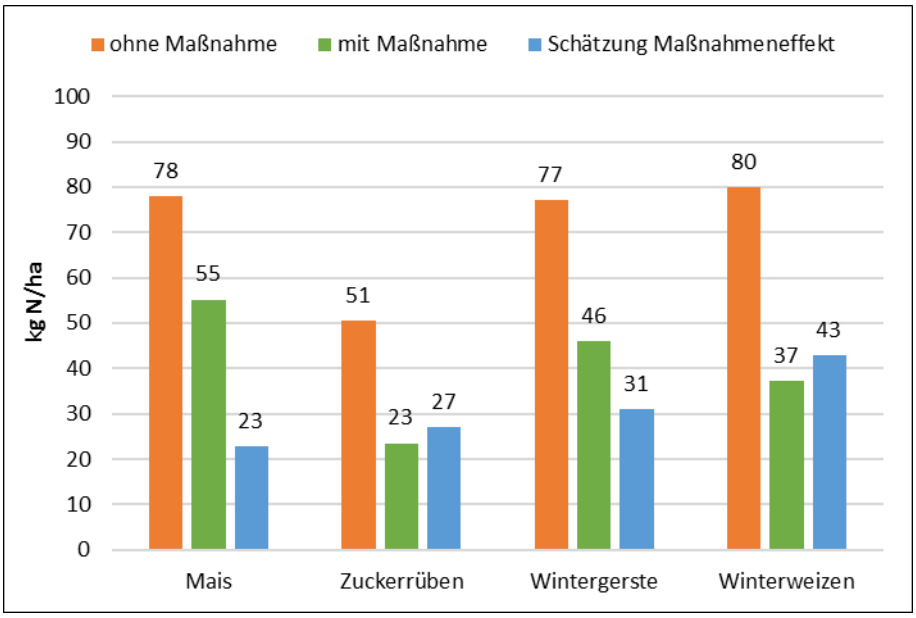


Abbildung 106: Schätzung der Wirkung für die Kooperationsarbeit insgesamt - WSG Weiler

Für die vier Kulturen, die mit den Kontrastwerten verglichen werden konnten, zeigt die Schätzung der Wirkung für die Kooperationsarbeit eine eindeutige, zweistellige Wirkung. Bei den Sommerungen Mais und Zuckerrüben ergibt die Schätzung Werte um die 25 kg N/ha, für Wintergetreidesorten liegt sie sogar über 30 kg N/ha. Die geschätzten Wirkungen für Wintergetreide fallen aufgrund der nicht idealen Kontrastwerte für beide Kulturen ggf. etwas zu positiv aus.

7.1.9.3 Zusammenfassende Auswertung

Der dem Gutachter zur Verfügung gestellte Datensatz enthält für den Zeitraum 2005 bis 2016 Herbst-N_{min}-Werte für 107 landwirtschaftliche Schläge. Bei einer landwirtschaftlichen Fläche von über 40 km^2 im WSG deckt dieser Datensatz nur einen Teil der gesamten Schläge im WSG ab. Somit kann diese Auswertung lediglich eine Annäherung an die tatsächlichen Ergebnisse im der Kooperationsarbeit im WSG leisten.

Die jährlichen Durchschnittswerte für Herbst-Nmin bleiben im betrachteten Zeitraum relativ stabil und liegen im Mittelwert bei 54 kg N/ha. Dieser Wert zeugt eindeutig von den Erfolgen der Kooperationsarbeit, insbesondere bei Betrachtung der im Rahmen des GROWA+ NRW2021-Projekts modellierten

[25] Um den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden, fließen in dieser Grafik die Daten der letzten 3 Jahre. Die verglichenen Werte sind aus methodischen Gründen keine Mittelwerte sondern Mediane und fallen dadurch niedriger aus als in der Abbildung mit Herbst-Nmin-Durchschnittswert nach Kultur. Herkunft und Ableitung der Kontrastwerte werden in Kapitel 6.1 zusammengefasst.

N-Bilanzüberschüsse für diese Region, die zur zweithöchsten und zur höchsten Klasse gehören (Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“ und „größer als 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017)

Die zwei wichtigsten Kulturen im Datensatz zum WSG Weiler im betrachteten Zeitraum waren Winterweizen (ca. 45%) und Zuckerrüben (ca. 25%). Die Schätzung der Wirkung der Kooperationsarbeit für diese zwei Kulturen ergibt bedeutende Minderungswirkungen von 43 bzw. 27 kg N/ha. Bei Mais und Wintergerste, auf welche ca. 8% der Schläge im untersuchten Zeitraum entfallen, lag die geschätzte Wirkung bei 23 bzw. 31 kg N/ha. Für Winterraps, eine weitere bedeutende Kultur im WSG, die im Durchschnitt auf 9% der Flächen angebaut wird, konnte aufgrund fehlender Vergleichswerte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen keine Wirkung geschätzt werden.

Wie für das WSG Zündorf lassen sich anhand des Datensatzes deutliche Minderungswirkungen für Zwischenfrüchte schätzen. Flächen mit Zwischenfruchtanbau im von der RheinEnergie entwickelten Kölner Mulchsaatverfahren (mit reduzierter Bodenbearbeitung) mit Umbruch im Folgejahr haben im Durchschnitt Herbst-N_{min}-Werte um die 50 kg N/ha unter denen von vergleichbaren Flächen ohne Zwischenfruchtanbau. Dieser Unterschied liegt damit etwas höher als die im WSG Zündorf ermittelte Differenz von 30 kg N/ha für den Zwischenfruchtanbau mit KMV. Bei der „60-Tage-Zwischenfrucht“ nach Wintergetreide und vor Winterweizen liegt der Unterschied bei 40 kg N/ha und somit auch etwas höher als den im WSG Zündorf ermittelten Unterschied.

Nach Angaben des Beraters ist das Potenzial bei der Zwischenfrucht über Winter weitestgehend ausgeschöpft, da auf 90-100% der potenziellen Flächen (vor Sommerungen) ein Zwischenfruchtanbau stattfindet. Deutliche Erweiterungspotenziale gibt es dagegen bei der 60-Tage-Zwischenfrucht, deren Anbau auf geschätzten 10 - 20% der potenziellen Fläche (nach und vor Wintergetreide) stattfindet.

Die im Datensatz enthaltenen Fruchtfolgen für einzelne Flächen lassen aus Sicht des Gewässerschutzes nicht ganz günstige Bedingungen erkennen, insbesondere aufgrund der hohen Anteile an Winterungen (Winterweizen, Winterraps, Wintergerste) und den mittelhohen Anteil an Sommerungen von ca. 35%. Das Potenzial von einer Optimierung der Fruchtfolgen aus Perspektive des Grundwasserschutzes ist im WSG Weiler deutlich erkennbar, wenn auch etwas weniger hoch als im WSG Zündorf. Die Maßnahme „Optimierung der Fruchtfolge“ wird in den Kooperationen der RheinEnergie allerdings nicht gefördert (vgl. Kapitel 7.1.10).

7.1.10 Zündorf

7.1.10.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Zündorf liegt rechtsrheinisch zwischen Köln und Bonn, es grenzt im Norden an den Rhein. Mit 49,5 km^2 gehört es zu den größeren Grundwasserschutzgebieten in dieser Studie. Ca. ein Drittel dieser Fläche liegt innerhalb der Grenzen der kreisfreien Stadt Köln, zwei Drittel der Fläche liegen im Rhein-Sieg-Kreis. Im Süden des WSGs liegen einige Ortschaften der Stadt Troisdorf, ein Ausläufer reicht bis an den Fluss Sieg heran. Ca. 50% der Fläche des WSG ist Siedlungsfläche, etwas über 40% sind landwirtschaftliche Nutzflächen.

Die Zusammenarbeit zwischen Landwirten und Wasserversorger begann im WSG vor über 30 Jahren, noch vor dem Abschluss des 12-Punkte-Programms in NRW. Im Jahr 1985 wurde der Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im Langeler Bogen e.V. (auch als AK Drüber und Drunter bekannt) gegründet, der diese Zusammenarbeit ausführt.

Dieser Auswertung liegt ein Datensatz von 858 Herbst-N_{min}-Werten für 166 Flächen im WSG Zündorf, für den Zeitraum 2008 – 2017 zugrunde. Aus Datenschutzgründen wurden weder personenbezogene Daten noch Angaben zur Flächengröße übermittelt. Die Zeitreihen für die Flächen unterscheiden sich stark: Bei manchen Flächen wurde nur der Herbst-N_{min}-Wert für ein Jahr übermittelt, bei anderen gibt es Werte für jedes einzelne der zehn Jahre. Im Durchschnitt stehen dem Gutachter 5,2 Herbst-N_{min}-Werte pro Fläche zur Verfügung, mit Angaben zur Vorfrucht, Zwischenfruchtanbau, Folgefrucht und Art der Fruchtfolge.

In Abbildung 107 wird die Fruchtartenverteilung über die Zeit für die Schläge im übermittelten Datensatz dargestellt. Durchschnittlich enthält der Datensatz Informationen für 86 Schläge pro Jahr der insgesamt 166 Schläge des Datensatzes. Bei einer landwirtschaftlichen Fläche von ca. 20 km² im WSG ist davon auszugehen, dass der Datensatz nur einen Anteil der Schläge im WSG abdeckt. Eine weitere Unschärfe ist dadurch gegeben, dass dem Gutachter für die Flächen keine Größenangaben vorliegen. Dadurch muss jeder Schlag als gleichwertig betrachtet werden, was zu einer Verzerrung in der Berechnung des Anteils einer Kultur an der beprobten Fläche führen kann. Nichtsdestotrotz lassen sich aus Abbildung 107 wichtige Parameter der Landwirtschaft im WSG ablesen. In roten Farben werden potentielle Problemkulturen hinsichtlich der Stickstoffauswaschungsgefahr dargestellt: Mais, Kartoffeln und Gemüse. In gelbbraunen Tönen stehen die Kulturen Ackergras, Grünland, Zuckerrüben, Wintergerste und Winterweizen. Winterraps - ebenfalls eine Problemkultur - wird hellgrün dargestellt, alle weiteren Kulturen sind unter Sonstiges (braun) zusammengefasst. Der Datensatz enthielt für eine jährlich stark variierende Anzahl von Flächen unter der Rubrik „Hauptfrucht“ lediglich den Hinweis „unbekannt“, die grau schraffiert dargestellt werden.

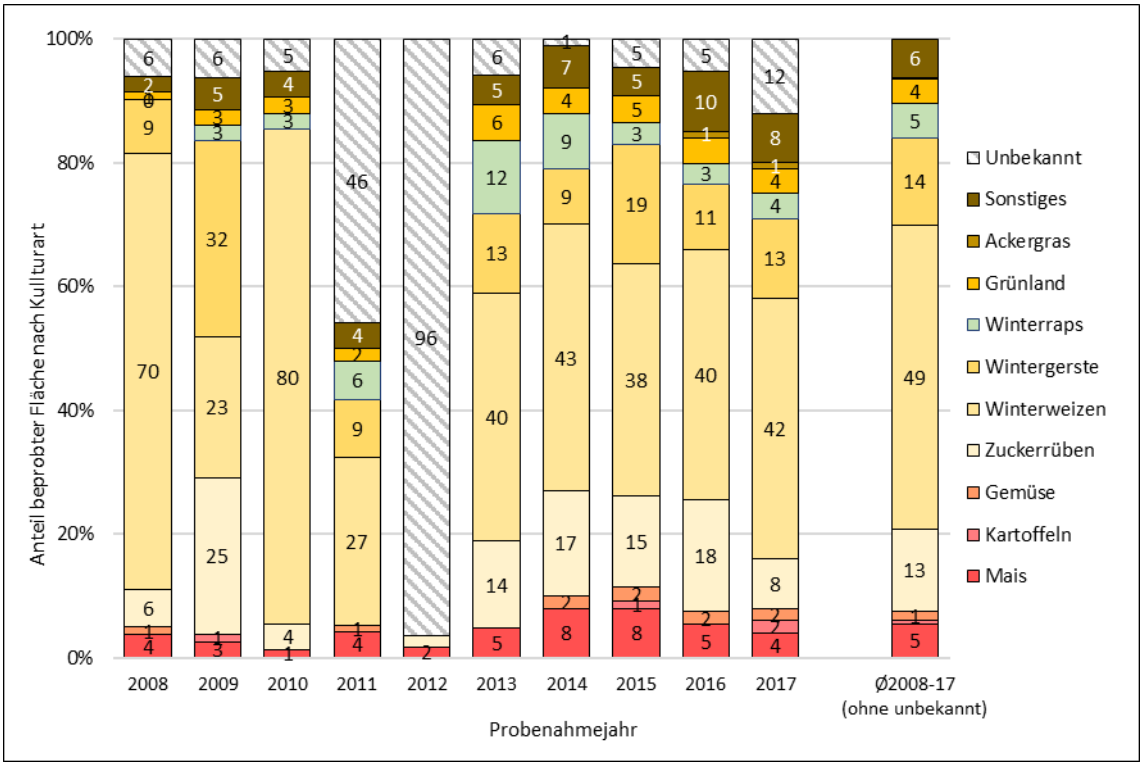


Abbildung 107: Prozentuale Verteilung Fruchtarten auf beprobten Standorten – WSG Zündorf

Die Abbildung zeigt deutlich den geringen Anteil an Problemkulturen (Mais, Kartoffeln, Winterraps, Gemüse) im Datensatz, der möglicherweise auch im gesamten WSG unter 10% liegt. Sehr stark vertreten im Gebiet ist Winterweizen, der im Datensatz praktisch die Hälfte aller Daten ausmachte („unbekannt“ ist herausgerechnet). Auch der 14%ige Gerstenanteil im Datensatz zeugt von einem bedeutenden Anteil an der landwirtschaftlichen Fläche im WSG, wie auch der Durchschnitt von 13% für Zuckerrüben. Grünland mit 4% ist dagegen sehr gering vertreten, Ackergrasflächen gibt es so gut wie keine im Datensatz, da im WSG keine intensive Viehwirtschaft betrieben wird. Im Datensatz liegt der durchschnittliche Anteil an Sommerungen bei 20%, ein im Vergleich geringer Wert, der auf schlechte Ausgangsbedingungen für den Zwischenfruchtanbau hinweist. Diese Werte sind allesamt als indikativ zu verstehen, da sie nicht das ganze WSG abbilden.

Aus Sicht des Gewässerschutzes sind die Fruchtfolgen im übermittelten Datensatz nicht besonders günstig. Nach Abzug von Grünland und sonstigen Dauerkulturen liegt der Anteil an Winterkulturen im Datensatz bei fast 75%. Die dreigliedrige Rheinische Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste und die Variante Zuckerrüben-Winterweizen-Winterweizen werden vergleichsweise selten angebaut. Häufiger vertreten im Datensatz sind längere Fruchtfolgen wie Zuckerrüben-Winterweizen-

Winterweizen-Wintergerste oder Zuckerrüben-Winterweizen-Winterraps-Winterweizen. Der Datensatz beinhaltet viele Flächen, auf denen 5, 6 oder mehr Jahre in Folge Wintergetreide angebaut werden sowie Flächen, auf denen im gesamten Zeitraum von 10 Jahren ausschließlich Winterungen (Wintergetreide und Winterraps) angebaut wurden.

Die Intensität der Landwirtschaft um das WSG Zündorf herum kann im Vergleich als moderat hoch eingestuft werden. Die Viehbesatzzahlen (GVE/ha LNF) der Gemeinden Niederkassel, Troisdorf und der kreisfreien Stadt Köln sind zwar sehr niedrig, nichtsdestotrotz wurden im Rahmen des GROWA+ NRW2021-Projekts N-Bilanzüberschüssen modelliert, die in der Region des WSG Zündorf zur höchsten Klasse gehören (Kategorie „größer als 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017).

Den Gutachtern liegen grundsätzliche Angaben zur Vorgehensweise in der Kooperation vor, aber keine detaillierten Angaben zu den verfolgten Ansätzen und Maßnahmen. Der übermittelte Herbst-N_{min}-Datensatz lässt auf die Umsetzung folgender Maßnahmen schließen:

- Anbau Zwischenfrucht im Kölner Mulchsaatverfahren.
- Anbau Zwischenfrucht konventionell.
- Anbau 60-Tage-Zwischenfrucht (vor Winterweizen).
- Herbst-N_{min}-Untersuchungen.

7.1.10.2 Ergebnisse der Kooperationsarbeit im WSG Zündorf

Abbildung 108 zeigt den jährlichen Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für den Datensatz der Flächen im WSG Zündorf.

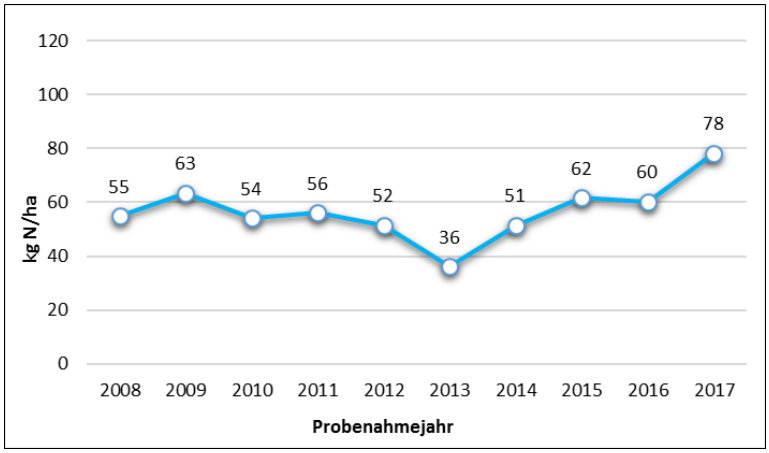


Abbildung 108: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert für Datensatz WSG Zündorf

Aufgrund des partiellen Datensatzes für das WSG lässt sich eine mögliche Entwicklung in zwei Abschnitte nur postulieren. Bis zum Jahr 2013 scheinen die Werte tendenziell abzunehmen, seitdem ist jedoch wieder eine zunehmende Tendenz zu beobachten. Dabei sollten Einzelwerte wie das Minimum im Jahr 2013 von 36 kg N/ha und der Maximalwert im Jahr 2017 von 78 kg N/ha nicht überbewertet werden, da sie Folge des Zusammenspiels von Witterung und der Kulturen im Gebiet sind. Im Jahr 2017 traten dürrebedingt sehr schlechte Erträge und damit höhere Bilanzüberschüsse insbesondere im anbaudominierenden Winterweizen-Anbau auf, wodurch der Durchschnittswert für dieses Jahr als Ausreißer zu betrachten ist. Der Durchschnittswert aller untersuchten Jahre von 57 kg N/ha für den Datensatz weist auf erhebliche Erfolge der Kooperationsarbeit hin. Abbildung 109 fasst die Herbst-N_{min}-Werte nach Vorfrucht (Hauptfrucht des Probenahmejahres) für den Zeitraum 2014-2017 zusammen und spiegelt somit den aktuellen Stand der Kooperationsarbeit wider.

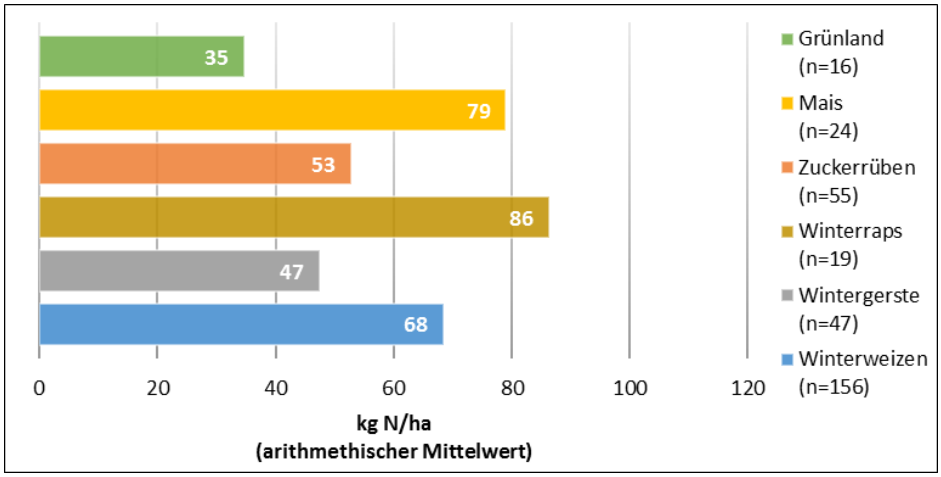


Abbildung 109: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres – Datensatz WSG Zündorf

Der Winterweizen, der die Vorfrucht auf fast 50% der Schläge im Datensatz bildet und somit die bei weitem wichtigste Kultur im Datensatz ist, erreicht mit einem Durchschnittswert von 68 kg N/ha etwas erhöhte Werte, die mit den im Gebiet üblichen Fruchtfolgen zusammenhängen (s. Diskussion weiter unten). Die Durchschnittswerte für Grünland und Wintergerste sind vergleichsweise niedrig, die Werte für Mais und Zuckerrüben dagegen bewegen sich eher im Mittelfeld. Der Winterraps ist mit einem Durchschnittswert von 86 kg N/ha auf einem für diese Kultur üblichen Niveau, der mit den leicht zersetzbaren Ernterückständen zusammenhängt, die im Spätsommer und Herbst hohe Mengen an Stickstoff freisetzen können.

Aufgrund seines Anteils an den Schlägen spielt der Winterweizen eine sehr wichtige Rolle für die in Abbildung 108 ermittelten Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte. In der Abbildung 110 werden die Herbst-N_{min}-Werte für Winterweizen bei den wichtigsten nachfolgenden Kulturen zusammengefasst.

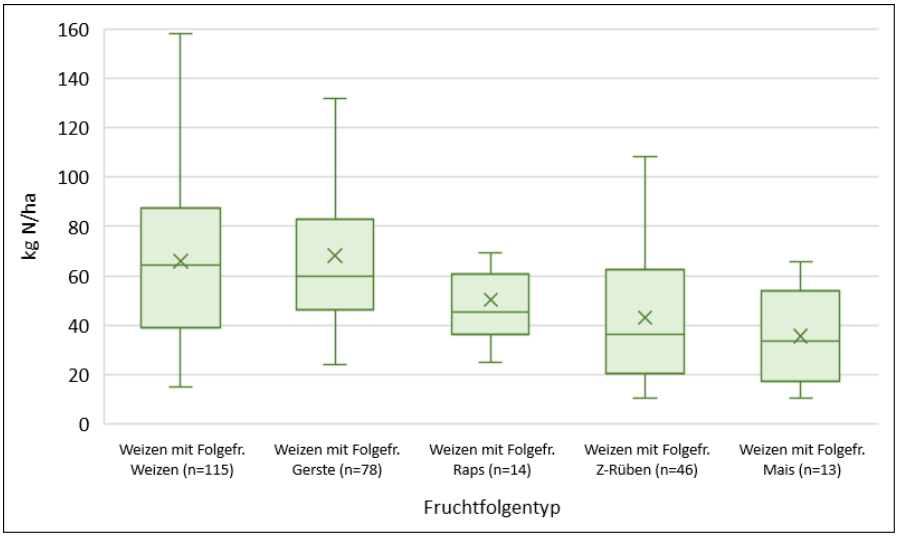


Abbildung 110: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit Winterweizen als Hauptfrucht des Probenahmejahres bei unterschiedlichen nachfolgenden Kulturen – WSG Zündorf

Der Boxplot zeigt deutlich, dass die Flächen mit Weizen bzw. Gerste als Folgefrucht die höchsten Werte erreichen, mit Durchschnittswerten um die 70 kg N/ha und Medianen um die 60 kg N/ha. Deutlich geringere Werte zeigen die Flächen mit Winterraps als Folgefrucht nach Winterweizen, mit einem Durchschnitt und Median von rund 50 kg N/ha, was der starken Stickstoff-Aufnahmefähigkeit in den ersten Monaten nach der Aussaat zuzuschreiben ist. (Winterraps ist allerdings eine Kultur, die durch erhöhte Herbst-N_{min}-Werte nach der Ernte gekennzeichnet ist, s. Abbildung 109.) Die niedrigsten

Werte werden für Flächen mit Folgefrucht Zuckerrüben (Median und Mittelwert um die 40 kg N/ha), und Mais erreicht. Diese Werte werden durch den vor diesen Kulturen möglichen Zwischenfruchtanbau bestimmt.

Tabelle 11 stellt die Häufigkeit der unterschiedlichen Folgefrüchte von Winterweizen dar

Tabelle 11: Kulturübergänge mit Vorfrucht Weizen im WSG Zündorf

Folgefrucht	Anzahl der Flächen mit Kulturübergang	Prozentualer Anteil Kulturüb. Weizen (n=287)	Prozentualer Anteil aller Kulturübergänge (n=555)
W-Weizen	115	40,1%	20,7%
W-Gerste	78	27,2%	14,1%
Zuckerrüben	46	16,0%	8,3%
W-Raps	14	4,9%	2,5%
Mais	13	4,5%	2,3%
Erbsen (Körnergew.)	6	2,1%	1,1%
W-Roggen	3	1,0%	0,5%
Dinkel	3	1,0%	0,5%

Die Tabelle verdeutlicht, dass die zwei höchsten Werte für Kulturübergänge mit Weizen als Vorfrucht aus Abbildung 110, nämlich mit Winterweizen und Wintergerste als Folgefrucht, mehr als 67% der (bekannten) Fruchtfolgeglieder mit Weizen als Vorfrucht und praktisch 35% aller im Datensatz bekannten Felderfolgen ausmachen. Zusammen mit den in Abbildung 110 dargestellten Unterschieden in den Herbst-N_{min}-Werten je nach Folgefrucht verdeutlicht die Tabelle die Bedeutung, die die in einem WSG üblichen Fruchtfolgen für die Durchschnittswerte einzelner Kulturen und somit für die durchschnittliche Nitratbelastung in einem WSG haben können. Gebiete, die ähnliche Herbst-N_{min}-Werte für die jeweiligen Fruchtfolgeglieder erreichen, können wegen ihrer unterschiedlichen Häufigkeit in den Fruchtfolgen gänzlich verschiedene Mittelwerte aufweisen.

Abbildung 111 illustriert anhand des Anteils an Sommerungen bzw. Winterungen nach Winterweizen für die WSG Zündorf und Hartefeld wie bedeutsam diese Unterschiede sein können. Im WSG Hartefeld erreicht der Weizen auch aufgrund dieses Zusammenhangs einen sehr niedrigen Durchschnittswert von 25 kg N/ha.

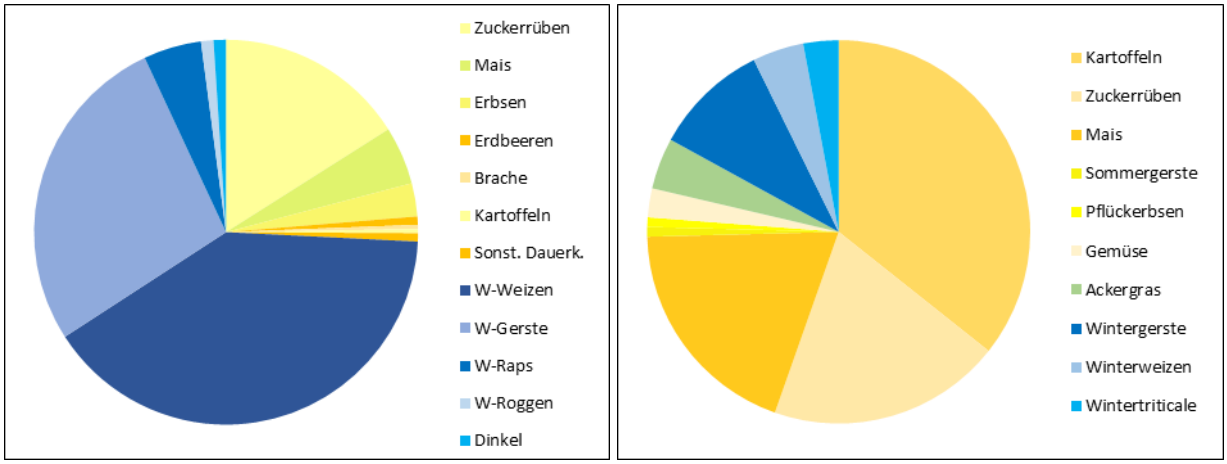


Abbildung 111: Folgefrucht nach Winterweizenflächen im WSG Zündorf (links, 2005-2016) und Hartefeld (rechts, 2008-2017).

Generell lassen die Fruchtfolgen auf den einzelnen Flächen im Datensatz aus Sicht des Gewässerschutzes nicht besonders günstige Bedingungen erkennen, insbesondere aufgrund der schon erwähnten hohen Anteile an Winterungen und geringen Anteile an Sommerungen. In Gebieten mit ähnlichen Bedingungen ist somit das Potenzial einer Förderung, die auf die Optimierung der Fruchtfolgen

aus Perspektive des Grundwasserschutzes abzielt, sehr deutlich. Dieses Potenzial wurde auch in einer Studie der RheinEnergie untersucht. Allerdings gelangte die Studie zum Schluss, dass eine Festlegung auf eine bestimmte, mehrjährige Fruchtfolge aus betriebswirtschaftlichen Gründen eher schwierig für den Landwirt sei. Die Studie stellt fest: „Grundsätzlich ist es für den Landwirt aber problematisch, sich auf eine bestimmte Fruchtfolge festzulegen, da er dann nicht mehr flexibel auf die Anforderungen des Marktes reagieren kann“ (RheinEnergie, 2010). Die Maßnahme „Optimierung der Fruchtfolge“ wird in den Kooperationen der RheinEnergie bisher nicht gefördert (vgl. auch Kapitel 7.1.9).

Die in Abbildung 110 dargestellten vergleichsweise geringen Werte für Weizenflächen mit Sommerungen als Folgefrucht sind fast ausschließlich auf den Einfluss von Zwischenfrüchten zurückzuführen. Auch die Werte für Weizen mit Folgefrucht Weizen werden durch den Anbau einer kurzen Zwischenfrucht auf einigen wenigen Flächen gesenkt. Diese sogenannte „60-Tage-Zwischenfrucht“ wird zwischen der Weizenernte im Juli und der erneuten Aussaat von Weizen im Oktober angebaut.

In Abbildung 112 lassen sich die Effekte dieser Zwischenfrüchte für Getreideflächen mit Folgefrucht Winterweizen („60-Tage“-Zwischenfrucht) bzw. für Weizenflächen mit Folgefrucht Sommerung deutlich erkennen. Aufgrund der in manchen Jahren sehr geringen n-Zahlen wurde im WSG Zündorf der Vergleich ohne Disaggregierung nach Jahren durchgeführt (vgl. hierzu Kapitel 6.1.3).

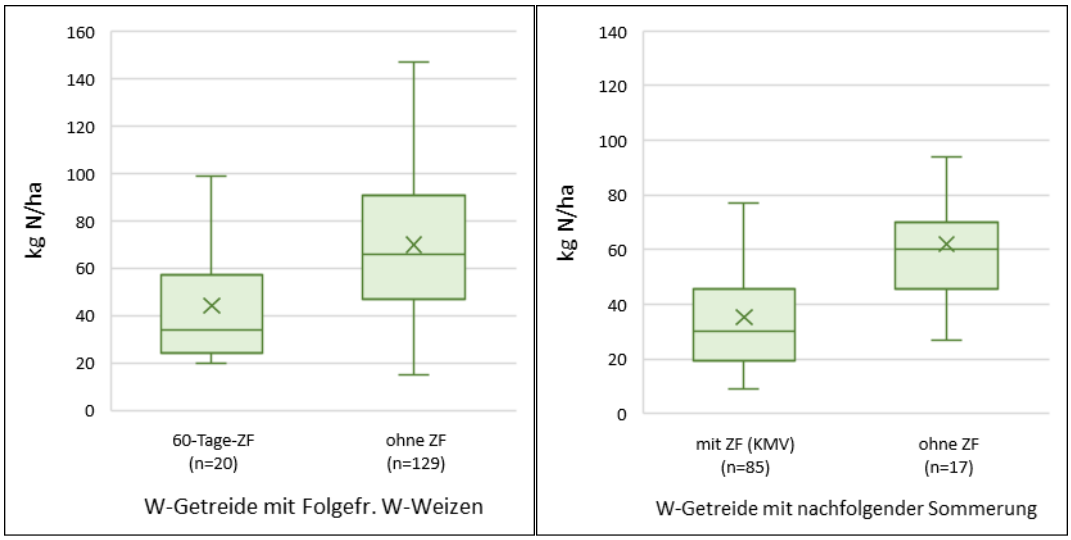


Abbildung 112: Vergleich der Herbst-N_{min}-Werte mit und ohne Zwischenfrüchte für Flächen mit Wintergetreide als Hauptfrucht des Probenahmejahres.

Die geschätzte Minderungswirkung der 60-Tage-Zwischenfrucht für Wintergetreideflächen mit Folgefrucht Winterweizen ist mit 30 kg N/ha (Differenz der Mediane) etwas niedriger als die geschätzte Minderungswirkung im WSG Weiler (40 kg N/ha). Die relativ geringe Anzahl von Flächen, auf denen diese Maßnahme umgesetzt wird, verglichen mit Flächen, die zwischen Getreidekulturen keine Zwischenfrucht aufweisen, könnte ein Zeichen von fehlender Akzeptanz bzw. zu hohem Aufwand für den Landwirt sein. Laut Angaben des Beraters liegt der Anteil von Flächen mit 60-Tage-Zwischenfruchtanbau derzeit bei ca. 10-20% der potenziellen Flächen.

Für eine Zwischenfrucht (KMV) vor Sommerung liegt die Minderungswirkung wiederum bei 30 kg N/ha (Differenz der Mediane) und fällt somit deutlich niedriger als im WSG Weiler aus (50 kg N/ha). Laut Berater liegt die flächenmäßige Ausdehnung der Zwischenfruchtflächen vor Sommerungen bei 90-100% der potenziell möglichen Flächen in der Kooperation, ca. 90% dieser Zwischenfrüchte werden nach dem Kölner Mulchsaatverfahren angebaut.

Abbildung 113 vergleicht Herbst-N_{min}-Werte (Mediane) für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen mit den Werten der Flächen im WSG Zündorf nach Kultur.[26] Da dem Gutachter keine genaueren Informationen zur inhaltlichen Ausgestaltung der Maßnahmen und Beratung zur Verfügung stehen, wird hiermit eine Schätzung der Wirkung der Kooperationsarbeit als Ganzes zusammengefasst. Die Abbildung stellt also eine Schätzung der Wirkung der Kooperationsarbeit nach einzelnen Kulturen dar.

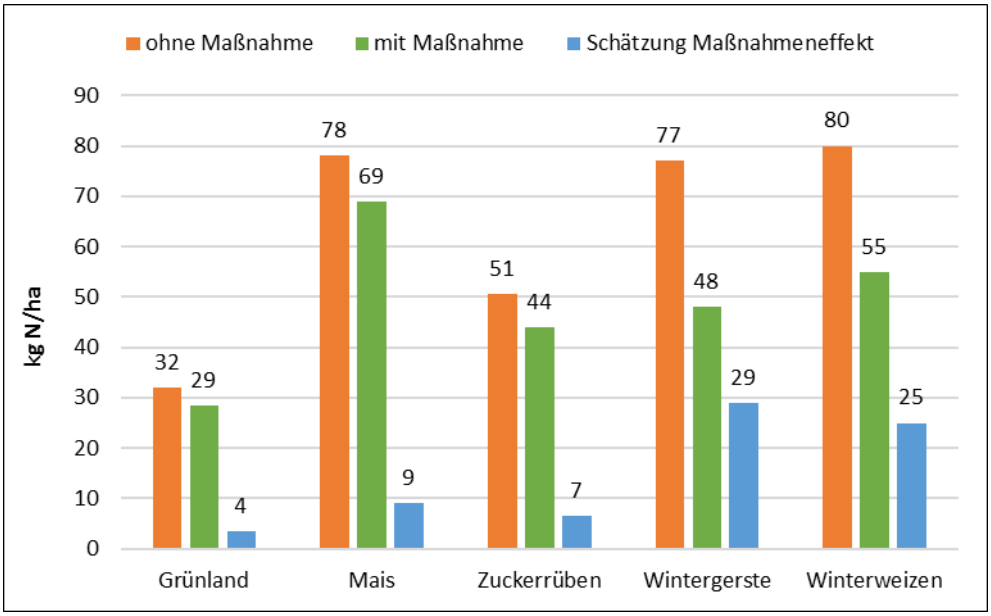


Abbildung 113: Schätzung der Maßnahmenwirkung „Kooperationsarbeit“ im WSG Zündorf

Für Grünland ergibt die Schätzung eine geringe Minderungswirkung von ca. 4 kg N/ha. Für Sommerungen Zuckerrüben und Mais wird die Wirkung leicht höher eingeschätzt und liegt bei 7 bzw. 9 kg N/ha. Eindeutig positiv fallen dagegen die geschätzten Wirkungen für Wintergetreidesorten aus, mit Ergebnissen zwischen 25 und 30 kg N/ha.

7.1.10.3 Zusammenfassende Betrachtung

Der zur Verfügung gestellte Datensatz enthält für den Zeitraum 2008 bis 2017 durchschnittlich 86 Herbst-N_{min}-Werte pro Jahr für insgesamt 166 landwirtschaftliche Schläge. Somit konnten in jedem Jahr ca. die Hälfte der Schläge in die Analyse mitaufgenommen werden. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass das WSG mit mehr als 20 km^2 landwirtschaftlicher Fläche über mehr als die 166 Schläge verfügt. Über diese können in diesem Gutachten keine Aussagen getroffen werden können.

Der Durchschnittswert für Herbst-Nmin liegt über die Jahre bei einem Wert von 57 kg N/ha. Dieser Wert zeugt von den Erfolgen der Kooperationsarbeit. Insbesondere wenn dabei die modellierten N-Bilanzüberschüsse für diese Region berücksichtigt werden, die NRW-weit zu den höchsten gehören (Kategorie „größer als 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“ für die kreisfreie Stadt Köln und Niederkassel (Rhein-Sieg-Kreis), Kategorie „40 bis unter 50 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“ für die Stadt Troisdorf (Rhein-Sieg-Kreis); LWK NRW, vTI, 2017). Seit 2013 scheinen sich die Herbst-N_{min}-Werte allerdings wieder etwas zu erhöhen.

Sehr deutliche Wirkungen lassen sich anhand des Herbst-N_{min}-Datensatzes für die Maßnahme Zwischenfruchtanbau erkennen. Eine Zwischenfrucht vor einer Sommerung ergibt im Durchschnitt eine

[26] Um den derzeitigen Stand der Kooperationsarbeit abzubilden, fließen in dieser Grafik die Daten der letzten 4 Jahre. Die verglichenen Werte sind aus methodischen Gründen keine Mittelwerte sondern Mediane und fallen dadurch niedriger aus als in der Abbildung mit Herbst-Nmin-Durchschnittswert nach Kultur. Die Herkunft und Ableitung der Kontrastwerte wird in Kapitel 6.1 zusammengefasst.

Minderungswirkung von 30 kg N/ha. Genauso gut wirkt sich eine „60-Tage-Zwischenfrucht“ nach Wintergetreide und vor Winterweizen aus.[27] Allerdings zeigt der Datensatz eine eher geringe Anwendung dieser letzten Maßnahme auf nur 20 Flächen (im Gegensatz zu 129 Flächen ohne diese Maßnahme, s. Abbildung 112). Laut Berater wird diese Zwischenfrucht derzeit auf nur 10% bis 20% der potenziellen Flächen angebaut. An dieser Stelle könnten ggf. Anreize erhöht bzw. die Beratung intensiviert werden, um Landwirte zu einer Umsetzung dieser erfolgsversprechenden Grundwasserschutzmaßnahme zu bewegen. Wesentlich üblicher ist der Anbau einer Zwischenfrucht vor der Sommerung, der nach Angaben des Beraters zwischen 90 – 100% der potenziellen Flächen (vor Sommerungen) liegt.

Die zwei wichtigsten Kulturen im Herbst-N_{min}-Beprobungsprogramm im WSG Zündorf sind Winterweizen (ca. 50%) und Wintergerste (14%). Die Schätzung der Wirkung der gesamten Kooperationsarbeit für diese zwei Kulturen ergibt bedeutende Minderungswirkungen von 25 bzw. 29 kg N/ha. Zuckerrüben sind eine weitere wichtige Hauptkultur mit durchschnittlich 13% der Schläge im Herbst-N_{min}-Beprobungsprogramm, die Schätzung der Wirkung zeigt allerdings eine weniger deutliche Minderung von ca. 7 kg N/ha für diese Kultur. Für Grünland und Mais, welche mit 4 bzw. 5% der Schläge im Gebiet weniger Bedeutung haben, ergibt die Schätzung ähnliche, einstellige Minderungswirkungen. Für Winterraps, eine Kultur, die im Durchschnitt auf 5% der Schläge als Hauptfrucht angebaut wurde, konnte aufgrund fehlender Vergleichswerte für Flächen ohne Gewässerschutzmaßnahmen keine Wirkung geschätzt werden.

Aus Sicht des Gewässerschutzes, liegen die Fruchtfolgen im WSG insgesamt nicht günstig. Nach Abzug von Grünland und sonstigen Dauerkulturen liegt der Anteil an Winterkulturen im übermittelten Datensatz bei fast 75%. Mit dem vergleichsweise eher geringen Anteil an Sommerungen sind die Möglichkeiten eines Zwischenfruchtanbaus vor einer Sommerung entsprechend niedrig. Während das Potenzial dieser Art von Zwischenfruchtanbau auf Ackerflächen in anderen untersuchten Gebieten zum Teil zwischen 35% und 45% beträgt, liegt es im Datensatz des WSGs Zündorf bei nur ca. 23%.

Das Potenzial von einer Optimierung der Fruchtfolgen aus Perspektive des Grundwasserschutzes ist im WSG Zündorf sehr deutlich. Dieses wurde auch in Studien der RheinEnergie untersucht. Allerdings ist eine Festlegung auf eine bestimmte, mehrjährige Fruchtfolge aus betriebswirtschaftlichen Gründen nicht leicht für den Landwirt. Die Maßnahme „Optimierung der Fruchtfolge“ wird in den Kooperationen der RheinEnergie daher nicht gefördert.

Die Datenerhebung von Herbst-N_{min}-Werten im WSG Zündorf ist sehr strukturiert und detailliert. Es werden differenzierte Angaben zu Kulturen und Zwischenfrüchtensorten erhoben, bis hin zu Angaben zu einem Leguminosenanteil in einem Zwischenfruchtgemenge. Diese Praktiken der Datenerhebung ermöglichen eine entsprechende Differenzierung bei der Datenbewertung und sind somit sehr zu begrüßen.

7.1.11 Boker Heide

7.1.11.1 Beschreibung Landwirtschaft und Kooperation

Das WSG Boker Heide liegt in Ostwestfalen, ca. 5 km nordwestlich von Paderborn im gleichnamigen Landkreis. Das Gesamtgebiet ist 13,6 km^2 groß und ist in zwei Bereiche aufgeteilt: einen kleineren, südwestlich gelegenen und einen größeren, nordöstlich liegenden Bereich, die jeweils eigene Förderbrunnen haben. Der nordöstliche Bereich wird gequert von der Bundestraße 64 und ist nach Süden durch die Lippe abgegrenzt. Im südlichen Bereich liegen neben dem Heddinghauser See noch wenige kleinere Teiche und ein Baggersee. Das Gebiet ist geprägt von überwiegend landwirtschaftlichen Flächen. Die Karte im Anhang 10.2.17 zeigt das Wasserschutzgebiet, mitsamt Produktionsbrunnen und Wasserschutzzonen.

Die Kooperationsarbeit begann im Jahre 1991. Die beiden Areale des WSGs Boker Heide sind Teil einer kreisweiten Kooperation. Einmalig unter den untersuchten Kooperationen ist die Tatsache, dass

[27] Es gab in den 20 Schlägen mit 60-Tage-Zwischenfrucht nur eine Ausnahme mit Folgefrucht Wintergerste.

diese Kooperation nicht nur für die WSGs im Landkreis gilt, sondern für die gesamten landwirtschaftlichen Flächen im Landkreis, also auch für diejenigen Flächen, die außerhalb von WSGs liegen. Diese Ausrichtung der Kooperationsarbeit hängt mit der karstigen Geologie der Region zusammen. Der Kreis Paderborn gliedert sich nördlich der Bundesstraße 1 in einen Ausläufer der Münsterländer Bucht, mit vorherrschender Bodenart Sand und lehmiger Sand, und in das Höhengebiet südlich der B1 hin zur Paderborner Hochfläche mit teils flachgründigen Karstböden. Färbeversuche im Wasser haben gezeigt, dass die Fließgeschwindigkeit im Grundwasser zur Niederung hin teils nur wenige Tage beträgt.

Es ist der Kooperation gelungen, im Jahr 2016 67% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche im Landkreis als Teil der Kooperation zu führen (LWK NRW, 2017b). Von den landwirtschaftlichen Flächen im WSG liegen nach Angaben des Beraters praktisch 100% unter Vertrag.

Angebaut wird vorwiegend Mais und Getreide, dazu die Kulturen Ackergras, Raps und Kartoffeln sowie eher selten Spargel und Erdbeeren. Mais mit Folgefrucht Mais („Folgemais“) ist im WSG Boker Heide recht üblich.

Die landwirtschaftliche Intensität um das WSG Boker Heide herum ist hoch, wie an den im Projekt GROWA+ NRW2021 modellierten N-Bilanzüberschüssen für das Jahr 2015-16 für die Gemeinden Delbrück (höchste Klasse, Kategorie „größer als 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“) und Paderborn (zweithöchste Klasse, Kategorie „50 bis unter 60 kg N-Flächenbilanzüberschüsse pro ha landwirtschaftlicher Fläche“; LWK NRW, vTI, 2017) zu erkennen ist.

7.1.11.2 Eckdaten der Kooperationsarbeit

Wie bereits erwähnt, sind beide Gebiete des WSG Boker Heide Teil einer kreisweiten Kooperation, da es sich um karstige Grundwasserleiter handelt. Die Maßnahmen werden daher im gesamten Landkreis gefördert. Die Kooperationsarbeit besteht vorwiegend aus Beratung sowie aus Förderung von Maßnahmen, die zu einer tiefergehenden Beratung führen. Förderung einer Flächenmaßnahme geschieht nur in sehr eingeschränkter Form in der Kostenübernahme für das Zwischenfruchtsaatgut im WSG (im Auswertungszeitraum nur im WSG Boker Heide).

Kooperationsleistungen im WSG Boker Heide

Die Kooperationsarbeit besteht vorwiegend aus Beratungsarbeit mit Schwerpunkt auf Effizienzsteigerungen im Pflanzenbau. Damit wird das Ziel verfolgt, über höhere Erträge dem Boden mehr Stickstoff zu entziehen und folglich den Wasserschutz zu verbessern.

Unterstützend zur Beratung werden verschiedene Maßnahmen gefördert, wie zum Beispiel Frühjahrs-, Spätfrühjahrs- und Herbst-N_{min}-Beprobungen. Die Herbst-N_{min}-Beprobungen werden mit Schwerpunkt auf problematische Kulturen (z. B. Mais) durchgeführt und dienen hierbei lediglich der Bewertung der Beratungserfolge. Es werden keine Prämien für die Unterschreitung bestimmter Werte ausgezahlt.

Darüber hinaus werden weitere beratungsstützende Maßnahmen gefördert, wie Pflanzenanalysen und N-Tester. Im untersuchten Zeitraum wurde auch die Vollanalyse von Dünger und Mist gefördert, die mittlerweile von der neuen Düngeverordnung zum Standard erhoben wurde. Die Kooperation führt auch verschiedene Feldversuche (Unterfußdüngerversuche nach Mais; Streifenversuche, Versuche zu Blattdünger, Huminsäuren, Bakterienbeizen) durch. Des Weiteren gibt es einen regelmäßigen Austausch zu Wasserparametern und Spurennährstoffmangel.

Für die Kooperationsflächen in den Wasserschutzgebieten erhalten die bezugsberechtigten Landwirte Zwischenfruchtsaatgut direkt von der Kooperation, die Kooperation stellt die Rechnung direkt gegenüber dem Wasserversorger. Die Saatenmischung wird eigens von der Kooperation erstellt und ist auf die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und der biologischen Vielfalt optimiert.

Die Beratungsintensität innerhalb der Wasserschutzgebiete ist höher als außerhalb: In den Wasserschutzgebieten geht der Berater aktiver auf die Landwirte zu, um sie für die Kooperationsarbeit zu gewinnen, als außerhalb der WSG. Außerhalb der WSGs werden weniger Betriebe persönlich kontaktiert, jedoch bekommen alle Betriebe bis zu zehn Rundschreiben im Jahr mit Informationen zum Gewässerschutz, Pflanzenbau und gesetzlichen Fragen.

7.1.11.3 Analyse der verfügbaren Herbst-N_{min}-Werte

Im WSG Boker Heide werden Herbst-N_{min}-Beprobungen vorwiegend als Grundlage zur Beratung erhoben. Sie liegen daher nicht flächendeckend und nur bei Ackergras, Getreide und Mais in einer ausreichenden Menge für die Auswertung vor. Die meisten Beprobungen wurden für die Kultur Mais vorgenommen. Eine detaillierte Betrachtung der Anbauverhältnisse aller Kulturen, wie dies in anderen Gebieten getan wurde, ist aus diesem Grunde mit diesen Daten nicht möglich.

In der Abbildung 114 sind die Herbst-N_{min}-Werte für die Kulturen Ackergras und Mais, sowie für Getreide angegeben. Wegen der geringen Datenlage sind in die Auswertung unterschiedliche Zeiträume eingeflossen.

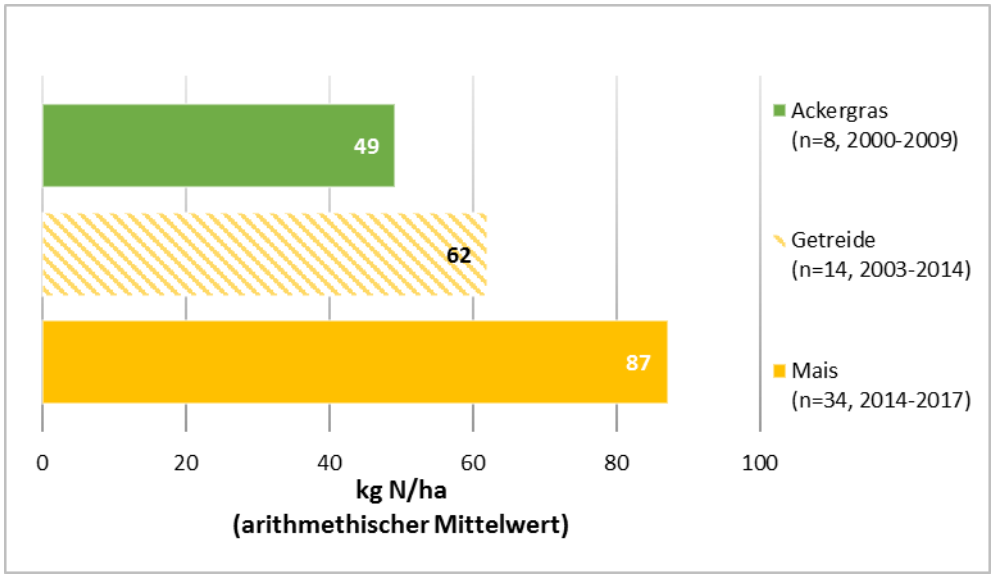


Abbildung 114: Herbst-N_{min}-Durchschnittswert in Abhängigkeit der Hauptfrucht des Probenahmejahres - WSG Boker Heide

Die Werte sind bei allen hier betrachteten Kulturen relativ hoch. Insbesondere die Werte von rund 90 kg N/ha für Mais scheinen signifikant höher als in anderen Wasserschutzgebieten.

Bei der Betrachtung der Werte sollte beachtet werden, dass die Beprobungen gezielt für die Beratungen stattfinden und somit weder flächendeckend noch repräsentativ für das gesamte WSG stehen. Aus diesem Grund wird im WSG Boker Heide keine Analyse der Maßnahmenminderungswirkungen vorgenommen.

7.1.11.4 Zusammenfassende Auswertung

Aufgrund der vorliegenden Datenlage konnte weder ein Durchschnittswert für das WSG noch eine Schätzung der Wirkung der Kooperationsarbeit für die besprochenen Kulturen ermittelt werden. Da es sich bei Mais und Getreide um die meistangebauten Kulturen handelt, lassen sich dennoch eingeschränkte Auswertungen vornehmen.

Bei Betrachtung der vorliegenden Daten zu den Kulturen Mais und Ackergras sowie für Getreide wurde festgestellt, dass die Herbst-N_{min}-Werte für Flächen in Wasserschutzgebieten eher hoch sind. Nichtsdestotrotz können diese Werte signifikant niedriger ausfallen als in Regionen, in denen bei einer ähnlichen landwirtschaftlichen Intensität keine Gewässerschutzberatung durchgeführt wird. Für die Kooperation Lüttelbracht z. B., mit einem vergleichbaren durchschnittlichen Wert für Mais von 83 kg N/ha, ergibt die Schätzung der Maßnahmenwirkung einen geringen aber dennoch positiven Wert von 14 kg N/ha. Im WSG Gatzweiler, mit ähnlich hohen Werten für Getreide (Winterweizen 60 kg N/ha, Wintergerste 65 kg N/ha), ergibt die Schätzung der Maßnahmenwirkung Werte um die 30 kg N/ha für diese Kulturen. Sowohl Lüttelbracht als auch Gatzweiler haben vergleichbare, sehr hohe modellierte N-Bilanzüberschüsse im Gegensatz zu den Gemeinden, in denen das WSG Boker Heide liegt.

Es kann bei diesen Werten davon ausgegangen werden, dass die Kooperationsarbeit zwar deutliche Minderungswirkungen vor dem Hintergrund einer intensiven Landwirtschaft entfalten kann, diese aber eine relativ eingeschränkte Ausprägung haben. Dies wäre allerdings auch nur für eine Kooperation zu erwarten, die fast ausschließlich auf Beratung ausgerichtet ist. Das Fehlen eines finanziellen Ausgleichs für die Umsetzung einer Maßnahme, die des Öfteren mit Mehrarbeit verbunden ist, stellt natürlich eine Grenze der Wirksamkeit einer Kooperationsarbeit dar.

Wie bereits erwähnt ist die Aussagekraft der hier vorliegenden Daten jedoch wegen mangelnder Repräsentativität stark eingeschränkt.

7.2 Analyse von Daten zur chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern

In den Grundwassergewinnungsgebieten stand die Analyse der zeitlichen Entwicklung von Nitrat als Trendanalyse im Fokus der Untersuchungen. Weitere hydrochemisch bedeutende Indikatorparameter wie Sulfat oder Hydrogencarbonat, welche ggf. zum Verständnis von natürlichen Nitratabbauprozessen im Grundwasser sein können, wurden ebenfalls in die Auswertung einbezogen. Die Beschreibung der räumlichen Verteilung und zeitlichen Entwicklung der Nitratgehalte war ebenfalls von Bedeutung. Es wurde eine räumlich differenzierte Auswertung nach Maßnahmengebieten angestrebt, wenn die jeweilige Datenlage es erlaubte.

7.2.1 Emmerich-Helenenbusch

Zur hydrochemischen Charakterisierung des Kooperationsgebietes Emmerich-Helenenbusch der Stadtwerke Emmerich stehen insgesamt 29 Messstellen, sechs Brunnen und eine LANUV-Messstelle (Gesamtzahl: 36), zur Verfügung, die die Kriterien hinsichtlich der Filterlage erfüllen. Für die meisten Messstellen liegen Daten für die Hauptkat- und -anionen sowie für PSM-Wirkstoffe und PSM-Metabolite im jährlichen Intervall von 1998 bis 2018 vor.

7.2.1.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit liegen Vollanalysen vor, wobei zunächst keine besonderen Auffälligkeiten festzustellen sind. Die Chlorid-Konzentrationen erreichen maximal 139 mg/l (Mittelwert: 31 mg/l). Hydrogencarbonat ist mit Konzentrationen von durchschnittlich 240 mg/l vertreten. Der Mittelwert Sulfat-Konzentrationen liegt bei 240 mg/l mit einem Maximalwert von 544 mg/l. Die Konzentrationen an Eisen (gesamt) liegen im Mittel bei 1,9 mg/l und erreichen vereinzelt bis zu 23 mg/l.

In Hinblick auf PSM und ihre relevanten sowie nicht-relevanten Metabolite lagen bei 6% der insgesamt 7541 Analysen die Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/l. In 2,7% der Analysen lagen die Werte über dem Grenzwert von 0,1 µg/l der TrinkwV (2018) für PSM- und Biozid-Wirkstoffe, wobei bemerkt werden muss, dass der genannte Anteil auch nicht-relevante PSM einschließt, die für den Grenzwert keine Relevanz besitzen. Die höchste Konzentration von 4,7 µg/l wurde im März 2015 in der Messstelle FGM07 gemessen, wobei es sich um den nicht-relevanten Metaboliten B (weitere Bezeichnungen: Desphenyl-Chloridazon oder 5-amino-4-chlor-3(2H)-pyridazinon) des Herbizids Chloridazon handelte. Damit wurde der gesundheitliche Orientierungswert (GOW) von 3 µg/l (UBA, 2019) für Trinkwasser in dieser Grundwassermessstelle überschritten.

Auf Grundlage der Ausprägung der Deckschichten lässt sich das Gebiet in zwei Zonen gliedern, die Einfluss auf die hydrochemischen Bedingungen im Grundwasserleiter haben. Im Norden sind die Deckschichten schluffig ausgeprägt, während sie südlich eher grobkörnig aufgebaut sind. Der Aufbau hat Auswirkungen auf das Redoxmilieu, das sich entsprechend reduzierend bzw. oxidierend ausbilden kann. Die Zonierung kann anhand der Eisenkonzentrationen in Abbildung 115 nachvollzogen werden, wobei im nördlichen Teil des Kooperationsgebietes höhere Eisenkonzentrationen gemessen werden als im südlichen Teil. Durch die unterschiedlichen Redoxbedingungen können ein erhöhtes Nitratabbaupotential und damit einhergehende geringere Nitratwerte im Norden erwartet werden.

Der hydrochemische Zustand bezüglich Nitrat ist anhand der langjährigen Mittelwerte in den Grundwassermessstellen mit räumlicher Differenzierung (Maßnahmenkategorien) in Abbildung 116 dargestellt. Es zeigt sich, dass im Extensivierungsgebiet (Prämienmodell) hohe Nitratkonzentrationen von bis zu 140 mg/l angetroffen werden können. Der Median liegt bei 70 mg/l. Das Maßnahmengebiet und partiell im Extensivierungsgebiet liegende Flächen, sind mit mittleren Werten von 20 – 40 mg/l geringer belastet. In einzelnen Fällen werden jedoch auch Werte von 90 mg/l erreicht. Dabei handelt es sich um die Messstellen FGM14 und G19, die sich je am westlichen Rand des Kooperationsgebietes bzw. im brunnennahen Bereich befinden. Es ist bemerkenswert, dass im aktuellen Zeitraum 2014 bis 2016 die Konzentrationen unter den Mittelwerten und Medianen des gesamten Untersuchungszeitraums lagen, d. h. es fand eine Abnahmetendenz bezüglich der Nitratkonzentrationen im Kooperationszeitraum statt. Die Ausdehnung des Extensivierungsgebietes stimmt mit den Nitrat-Hochlastbereichen weitestgehend überein. Das Prämienmodell ist damit sinnvoll dimensioniert.

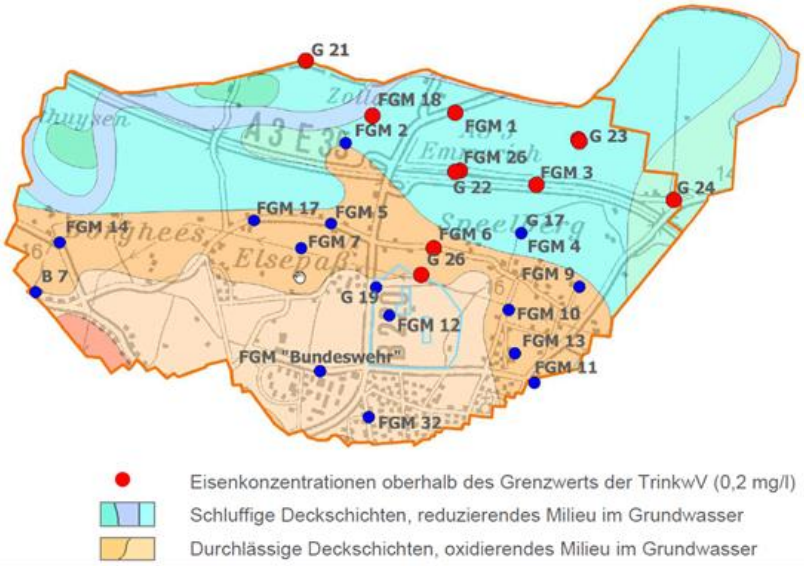


Abbildung 115: Zonierung der Deckschichten im Grundwasserleiter des Kooperationsgebietes Emmerich-Helenenbusch

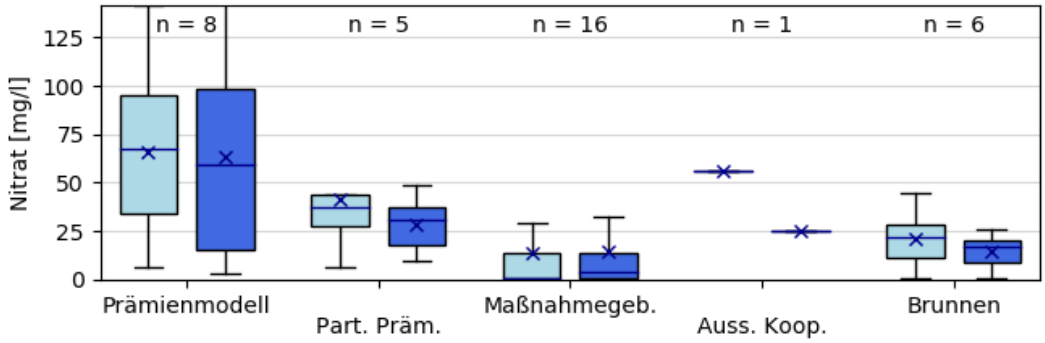


Abbildung 116: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser der Zustromgebiete in Emmerich-Helenenbusch für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 (dunkelblau);

In Abbildung 117 sind repräsentative Nitratganglinien für das Kooperationsgebiet aufgeführt. Erkennbar ist meist eine starke Abnahme, jedoch auch zunehmende Entwicklungen hinsichtlich der Nitratkonzentrationen. Im Jahr 2017 lag der Median aller Messstellen bei etwa 30 mg/l.

Die Brunnen weisen mittlere bis hohe Nitratgehalte von bis zu 45 mg/l auf (Median 20 mg/l). Für einen Vergleich mit den hydrochemischen Verhältnissen außerhalb des Kooperationsgebietes steht lediglich eine GWM zur Verfügung, die LANUV-Messstelle westlich des WSG bei Elten, die aufgrund ihrer Entfernung von 3 km nur begrenzt repräsentativ ist. Der langjährige Durchschnitt der Nitratwerte liegt bei 65 mg/l.

Aus der Karte in Anhang 10.2.1 geht außerdem hervor, dass die Nitratverteilung in Einklang mit der Zonierung der Deckschichten in Abbildung 115 stehen. Dort, wo die schluffigen Deckschichten ausgeprägt sind, sind entsprechend geringe Nitratwerte <10 mg/l zu finden. Dies deutet auf Nitratabbauvorgänge im Norden des Gebietes hin, da aufgrund der Deckschichten der Sauerstoffgehalt und das Redoxmilieu gering sind und der Abbau von Nitrat gefördert wird. Hinsichtlich des Nitratabbaus im Grundwasserleiter konstatierte das IWW (2014) auf Grundlage der N_2/Ar-Methode eine Nitratabbauleistung von 70 – 80% im Rohwasser. Aus dieser Angabe lässt sich jedoch nicht schließen, wo genau dieser Abbau stattfindet.

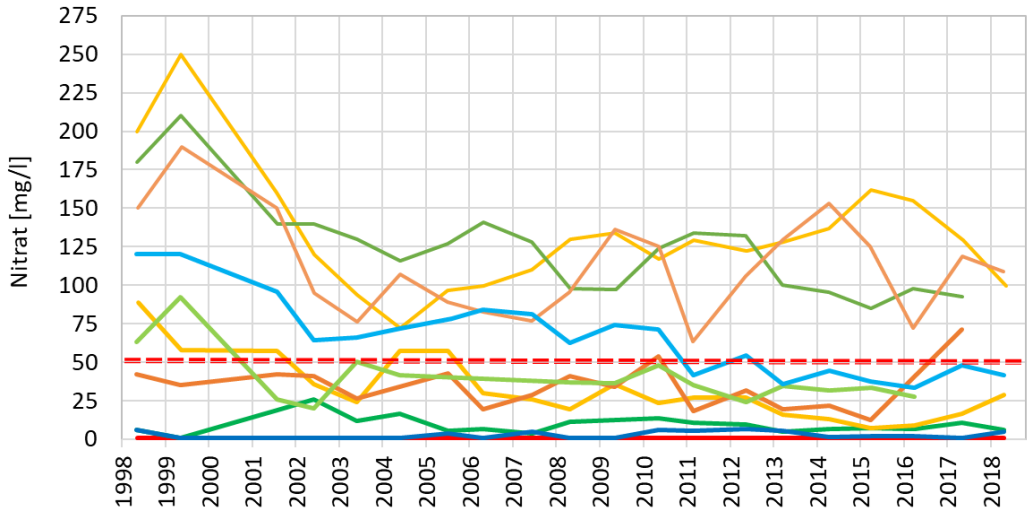


Abbildung 117: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Emmerich-Helenenbusch

Für die Bewertung von Maßnahmen im Kooperationsgebiet ist ein stattfindender Nitratabbau von hoher Bedeutung. Daher wurden die Ganglinien relevanter Parameter (Sulfat, Chlorid, Hydrogencarbonat) auf Hinweise zum Nitratabbaupotential untersucht. Von 24 auswertbaren Ganglinienscharen (ausreichende Datenlage und Filterlage <10 m Tiefe) konnten bei 7 GWM (FGM02, 03, 04, 09, 11, 12 und G17-09.0) Anzeichen eines chemo-organotrophen Nitratabbaus aufgrund eines signifikanten Anstiegs von Hydrogencarbonat bei praktisch konstantem pH-Wert beobachtet werden. Die GWM liegen im nördlichen und im östlichen Teil des WSG sowie im brunnennahen Bereich (FGM 12), jedoch liegen in diesen Bereichen auch die meisten GWM aus der gesamten Stichprobe. Räumliche Zusammenhänge, z. B. mit den schluffigen Deckschichten im Norden, lassen sich daher nur sehr begrenzt herstellen. Die übrigen 70% der Messstellen zeigten keinerlei Hinweise auf einen stattfindenden Nitratabbau im Grundwasser, da die Hydrogencarbonat- bzw. Sulfat-Konzentrationen konstant oder fallend waren.

7.2.1.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Die Trendkriterien wurden von vier Messstellen nicht eingehalten, daher beschränkt sich die Auswertung des Nitrattrends auf 32 Datenpunkte. Die in Abbildung 118 dargestellten statistischen Übersichten zu den Magnituden der linearen Nitratentwicklung zeigen nahezu ausnahmslos fallende Nitratkonzentrationen. Die im Prämienmodell liegenden Grundwassermessstellen zeigen im Mittel negative Steigungen von rund -2 mg/l pro Jahr, während das Maßnahmengebiet mit drei Ausnahmen praktisch keine nennenswerten Steigungsbeträge aufweist. Die auf Grundlage der Zustromgebiete nicht eindeutig zuzuordnenden Messstellen, die partiell im Prämienmodell liegen, haben ihren Wertebereich zwischen dem des Prämienmodells und des Maßnahmengebietes (Median ca. -1 mg/l pro Jahr). Die GWM außerhalb des Kooperationsgebietes weist eine Steigung von -5,2 mg/l pro Jahr auf. Die überwiegend fallenden Nitratwerte lassen sich auch bei den Brunnen wiedererkennen. Die mittlere Verringerungsrate beträgt etwa -1 mg/l pro Jahr.

In Abbildung 119 ist die Signifikanz der Nitratentwicklungen dargestellt. Sie besitzt eine deutliche Ausprägung, da der überwiegende Teil der Grundwassermessstellen fallende Trends aufweist, darunter auch nahezu alle Brunnen. Die Hälfte der GWM, die sich im Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell befinden, zeigen deutlich fallende Trends. Eine weitere GWM zeigt dabei eine steigende Tendenz (FGM08). Aus den Nitratganglinien in Anhang 10.3.1 geht hervor, dass die Entwicklungen in gewissen Zeitabschnitten sehr heterogen, zeitweise auch mit stark steigenden Nitratentwicklungen, sind. Im Maßnahmengebiet sind keine nennenswerten Trendentwicklungen zu verzeichnen, was weitestgehend auf die zuvor beschriebenen geringen bzw. nicht vorhandenen Steigungen in der Nitratentwicklung zurückzuführen ist. Nur eine GWM im Maßnahmengebiet zeigt einen deutlich steigenden Trend (FGM14). Sie befindet sich am westlichen Rand des WSG.

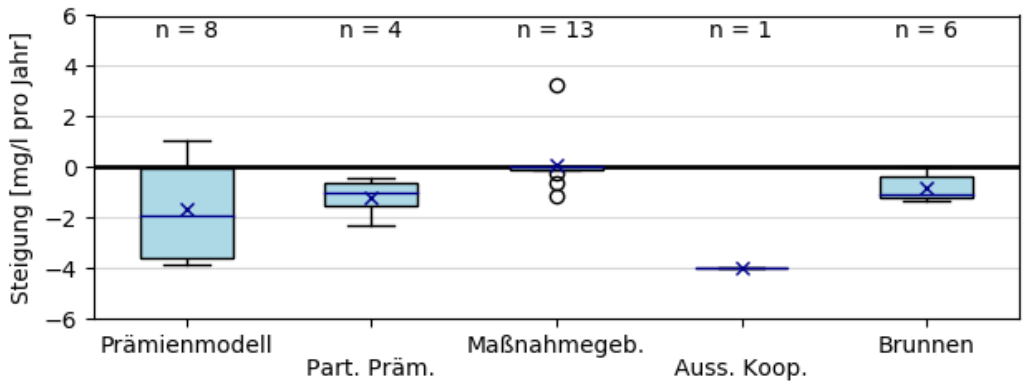


Abbildung 118: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Emmerich-Helenenbusch

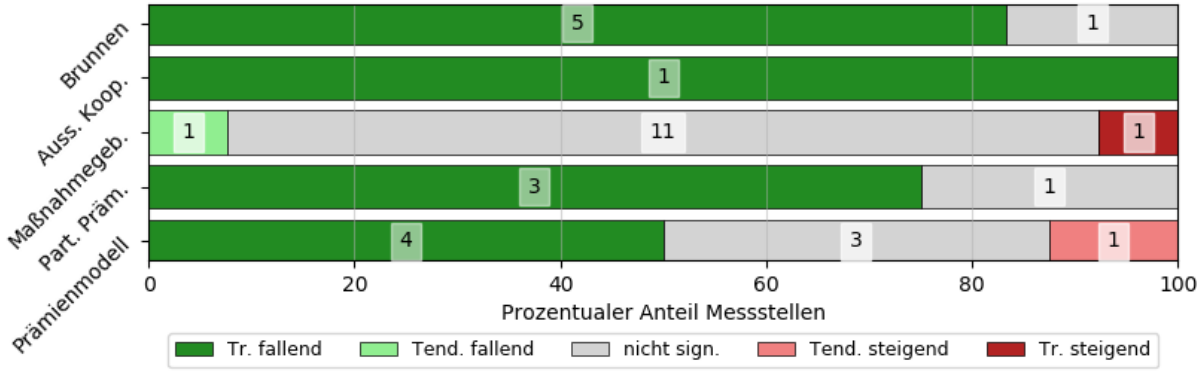


Abbildung 119: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Emmerich-Helenenbusch

Aus den Grafiken in Abbildung 120 geht erneut deutlich hervor, dass der überwiegende Teil der Grundwassermessstellen fallende Nitratwerte aufweist, bezogen auf die Nitratklasse (links) vor allem bei

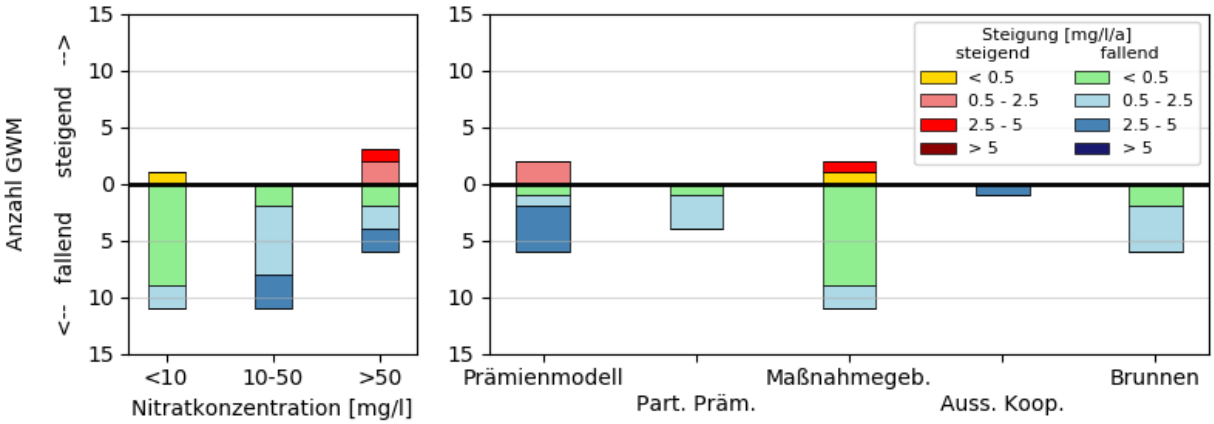


Abbildung 120: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Emmerich-Helenenbusch

niedrigen (<10 mg/l) und mittleren Konzentrationen (10 – 50 mg/l). Die höchste Konzentrationsklasse mit >50 mg/l zeigt jedoch den größten Anteil mit steigenden Nitratwerten mit insgesamt drei GWM. Dabei handelt es sich u. a. um die bereits genannten FGM08 und FGM14 sowie die FGM10, deren Steigung keine Signifikanz besitzt. Diese GWM sind in Abbildung 120 (rechts) wiederzufinden und befinden sich im Kooperationsgebiet.

Im Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell zeichnet sich, wie zuvor festgestellt, nicht nur durch eine höhere Signifikanz der Nitratentwicklung aus, sondern die Magnituden sind im Vergleich zum Maßnahmengebiet und den nur partiell im Extensivierungsgebiet liegenden GWM mit 2,5 – 5 mg/l pro Jahr deutlich höher.

In Abbildung 121 sind die Nitratwerte im Grundwasser den Herbst-N_{min}-Werten im Extensivierungsgebiet gegenübergestellt. Die dominierenden fallenden Nitrat-Trends, die zuvor festgestellt wurden, lassen sich nach 2004 im Gebietsmittel (blau) nicht mehr wiederfinden, da sie sich im Gebietsmittelwert mit Messstellen überlagern, die allgemein hohe Nitratwerte ohne fallende Trends besitzen (z. B. FGM08, FGM09 und FGM10), was durch die Diskrepanz zur grauen Kurve hervorgeht. Folglich stören diese drei Messstellen die sonst rückläufige Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Extensivierungsgebiet. Die Herbst-N_{min}-Werte liegen für den Zeitraum 2010 – 2017 vor und bewegen sich auf niedrigem Niveau zwischen 20 – 50 kg N/ha, zeigen jedoch keinen Trend.

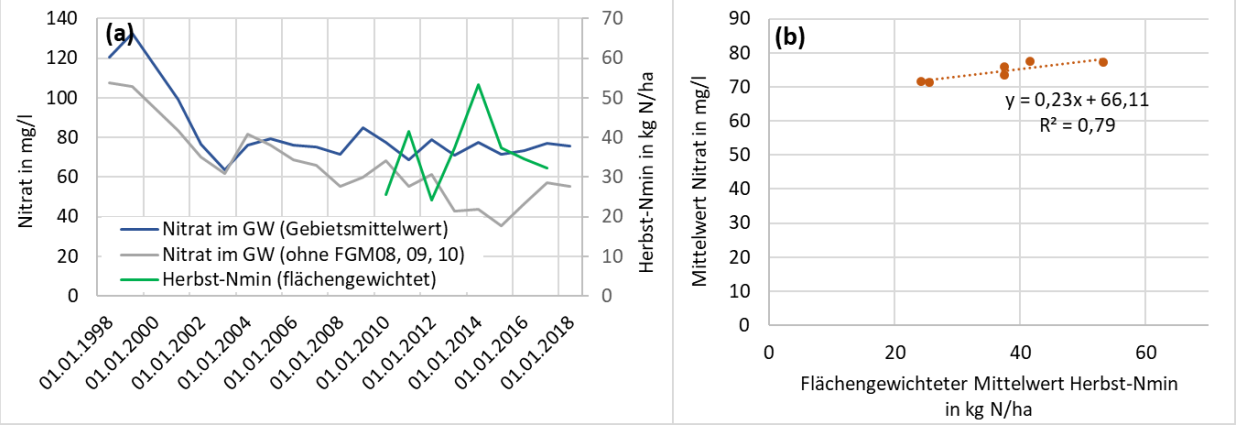


Abbildung 121: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte für das Gebiet mit Prämienmodell (a) als Ganglinien und (b) als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von drei Jahren

Geht man davon aus, dass durch Auswaschungsprozesse Zusammenhänge zwischen Herbst-N_{min}-Werten und Nitratgehalten im Grundwasser hergestellt werden können, so wäre eine Zeitverschiebung zwischen den Konzentrationssignalen zu erwarten. Das höchste Bestimmtheitsmaß zwischen mittleren Herbst-N_{min}-Werten (grün) und Nitrat im Grundwasser (blau) wurde nach relativer Verschiebung um drei Jahre mit einem Ergebnis von R^2 = 0,79 erreicht (s. Abbildung 121b). Zwar konnten aufgrund fehlender Schichtenverzeichnisse keine Sickerwasserverweilzeiten für das Prämiengebiet ausgewiesen werden, jedoch liegen die Sickerwasserverweilzeiten umliegender GWM bei vier Jahren, was in guter Übereinstimmung mit dem Maximum des Bestimmtheitsmaßes steht.

Dies deutet darauf hin, dass sich jährliche Schwankungen in den Herbst-N_{min}-Werten im Gebietsmittel der Nitratwerte des Grundwassers nach einigen Jahren niederschlagen. Die lineare Regression deutet an, dass sich der Zusammenhang in der Größenordnung von etwa 2 mg/l Konzentrationsanstieg bei einer Zunahme von 10 kg N/ha Herbst-Nmin abspielt. Dies deutet auf eine scheinbar geringe Sensitivität des Grundwassersystems gegenüber Änderungen der Herbst-N_{min}-Werte hin. Jedoch muss die Größenordnung der N_{min}-Werte miteinbezogen werden, die im Betrachtungszeitraum mit einer Ausnahme zwischen 30 – 40 kg N/ha auf einem relativ geringen und aus Sicht des Gewässerschutzes tolerierbaren Niveau liegt. Bei Herbst-Nmin in diesen Spannweiten sind die Nitratkonzentrationen im Sickwasser sowie deren konzentrationssteigernde Wirkung auf das Grundwasser gering. Zudem kann ein Nitratabbau in der ungesättigten Zone und im Grundwasserleiter Nitratzunahmen dämpfen.

In Abbildung 122 sind die gemäß DVGW & DWA (2019) berechneten Nitratwerte mit relativer Zeitverschiebung von drei Jahren den Nitrat-Messwerten im Prämiengebiet gegenübergestellt. Als Datengrundlagen wurde aus der BK50 NRW eine mittlere nutzbare Feldkapazität von 80 mm ermittelt und die flächengemittelte Grundwasserneubildung von 180 mm/a aus dem Modell mGROWA (FZ Jülich 2013).

Die Größenordnungen der Kurven stimmen unter Berücksichtigung des abschätzenden Charakters der Methodik gut überein. Die berechneten Sickerwasserkonzentrationen sind häufig höher als die Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Die enormen Schwankungen, z. B. in den Jahren 2014 und 2017, zeichnen sich kaum in den Gebietsmitteln ab. Der Grundwasserleiter reagiert zwar prinzipiell auf jährlich berechnete Konzentrationsspitzen im Sickerwasser, jedoch weniger sensitiv als erwartet. Diese Dämpfung kommt womöglich durch die Mischung verschiedener Sickerwässer zustande. Bei einer Glättung der berechneten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser würden diese jedoch weiterhin über den gemessenen Werten liegen, daher bietet auch ein geringfügiger Nitratabbau in der ungesättigten Zone eine Erklärungsmöglichkeit für die Dämpfung der Konzentrationsspitzen. Durch den Rückgang der flächengewichteten N_{min}-Werte und daraus resultierenden geringen Nitratkonzentrationen sind in den nächsten Jahren mittlere Nitratanstiege im Grundwasser im Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell unwahrscheinlich.

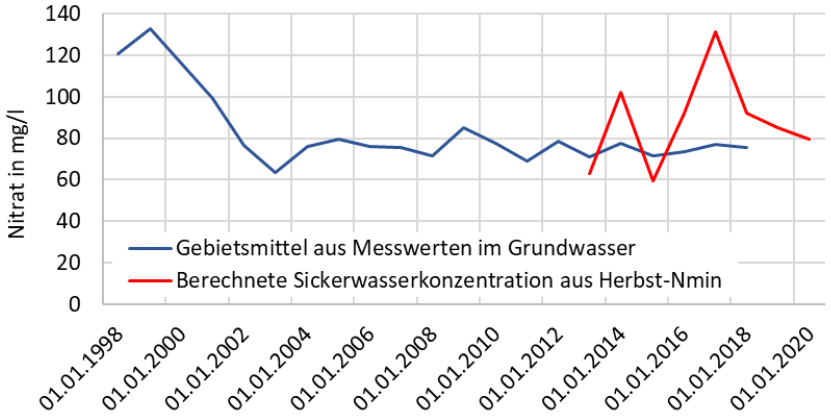


Abbildung 122: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von drei Jahren

7.2.1.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Nitratentwicklung für das WSG Helenenbusch kann für den Zeitraum 1998 – 2018 bewertet werden. Die seit 1996 aktive Kooperation zeichnet sich durch eine langjährige Stabilität aus. Das hochbelastete Extensivierungsgebiet (Median der langjährigen Mittelwerte: 70 mg/l) wird mit einem Prämienmodell gefördert und weist im genannten Zeitraum eine positive Entwicklung mit überwiegend fallenden Nitratkonzentrationen auf (50% der GWM).

Der Maßnahmenerfolg kann nicht anhand außerhalb des Kooperationsgebietes liegender Messstellen quantifiziert werden. Die nächstgelegene, oberflächennah verfilterte LANUV-Messstelle außerhalb des Kooperationsgebietes weist ebenfalls eine enorme Verringerungsrate von 4 mg/l Nitrat pro Jahr auf. Ob dies flächendeckend außerhalb des Kooperationsgebietes der Fall ist, muss jedoch hinterfragt werden. Die Repräsentativität der Messstelle ist aufgrund der Distanz ohnehin problematisch.

Die Nitrat-Abnahmerate beträgt in diesem Gebiet etwa -2 mg/l pro Jahr. Diese Entwicklung schlägt sich ebenso positiv auf die Konzentrationsentwicklung in den Brunnen nieder, die mit einer Ausnahme signifikant fallende Nitratkonzentrationen aufweisen. Bereits das IWW (2006) stellte für das WSG Helenenbusch fest, dass im Laufe der 90er Jahre die Anzahl GWM mit steigenden Trends stark abnahm und nicht-signifikante Entwicklungen zunahmen. Diese Entwicklung war auch in den Rohwässern festzustellen. Aufgrund dieser Trendumkehr und den langanhaltenden fallenden Trends ist mittlerweile ein auf den gesamten Zeitraum bezogener fallender signifikanter Trend festzustellen. Die starken Zusammenhänge zwischen mittleren Herbst-N_{min}-Werten und Nitrat im Grundwasser bestäti-

gen die Wirksamkeit der mit einem Prämienmodell gekoppelten Extensivierung. Der Erfolg ist womöglich auf eine Verringerung der Nitrateinträge durch die Maßnahmen im Prämiengebiet zurückzuführen. Vor allem die hohen Maßnahmeneffekte bei Mais (ca. 45% der Flächen) mit um 41 kg N/ha verringerten Herbst-N_{min}-Gehalten von 37 kg N/ha (Median) sorgen für eine drastische Verringerung der Nitrateinträge. Das Potential ist auf den Maisflächen weitestgehend ausgeschöpft, da sich die Herbst-N_{min}-Gehalte nicht weiter mindern lassen. Ein Verringerungspotential besteht hingegen bei den Grünlandflächen, bei denen keine Maßnahmenwirkung festgestellt werden konnte. Die durchschnittlichen Herbst-N_{min}-Gehalte liegen bei 47 kg N/ha (s. Kapitel 7.1.1). Bei bereits geringfügigen Verringerungen der Herbst-N_{min}-Gehalte auf Grünland können aufgrund eines aktuellen Flächenanteils von rund 35% möglicherweise bereits messbare Effekte erzielt werden.

Es ist anzunehmen, dass die positiven Nitratentwicklungen im Kooperationsgebiet Helenenbusch teilweise auch auf einen chemo-organotrophen Nitratabbau im Grundwasserleiter zurückzuführen sind. Je nachdem wo dieser Nitratabbau stattfindet, sind die Ergebnisse entsprechend differenziert zu betrachten. Die zu Grunde liegenden Informationen (SW Emmerich, 2015; IWW, 2014) und die oben durchgeführte Überprüfung der Hinweise auf Nitratabbau ließen jedoch keine eindeutigen Schlüsse auf eine Lokalisierung des Abbaupotentials zu. Es ist zu vermuten, dass dieser im nördlichen Teil des Gebietes stattfindet, wo geringdurchlässige Deckschichten ausgebildet sind und sauerstoffarme Verhältnisse herrschen, die einen Nitratabbau begünstigen.

Die Maßnahmenwirkung ist nicht für alle Messstellen im Prämiengebiet festzustellen. Lokal wird sie durch Stagnation bzw. sogar steigende Tendenzen der Nitratwerte seit 2004 in den hochbelasteten Messstellen FGM08, FGM09 und FGM10 (64, 94 und 142 mg/l Nitrat im zeitlichen Mittel) gestört. Diese Messstellen und ihre Zustromgebiete sollten intensiver analysiert werden, um die Ursachen des stark abweichenden Verhaltens festzustellen. Mit den vorliegenden Daten ist allerdings keine weitergehende Analyse möglich.

Die Nitratentwicklung mit fallenden Trends setzt sich nicht im gesamten Kooperationsgebiet fort. Das weitestgehend gering belastete Maßnahmengebiet weist für den Zeitraum 1998 – 2018 keine signifikante Entwicklung auf, was womöglich auf das geringe Konzentrationsniveau (Median < BG, Mittelwert 15 mg/l) zurückzuführen ist. Die Maßnahmen im Maßnahmengebiet haben einen vorsorgenden Charakter und sollten weitergeführt werden. Punktuell befinden sich im Maßnahmengebiet Nitrat-Hotspots (FGM14 und FGM32), die beobachtet und ggf. intensiver untersucht werden sollten, um mögliche Ursachen festzustellen.

7.2.2 Mussum

Das Gebiet ist im westlichen Teil überwiegend durch Landwirtschaft geprägt, während der Anteil landwirtschaftlich bewirtschafteter Flächen im Osten abnimmt und der Anteil der siedlungsgeprägten Flächen zunimmt. Am östlichen Rand (Anstrom) befindet sich eine Deponie. Es gliedert sich auf Grundlage der aktuellen Kooperation in ein Basisberatungs- und Intensivberatungs- bzw. Prämiengebiet, die sich jeweils im östlichen bzw. im westlichen Teil befinden (s. Anhang 10.2.2). Da die Zustromgebiete (Stromstreifen) überwiegend im Intensivberatungsgebiet liegen, wurde bei deren Zuordnung nicht zwischen Basis- und Intensivberatung differenziert. Die Flurabstände liegen im überwiegenden Teil des Wasserschutzgebietes bei 1 bis 3 m (Obermann 1981), daher liegen die berechneten Sickerwasserverweilzeiten bei weniger als fünf Jahren.

Für das WSG Mussum wurden Stammdaten zu 24 Grundwassermessstellen seitens des Wasserversorgers geliefert. Davon verblieben sechs Grundwassermessstellen für die Auswertung, da 14 GWM keine Nitratdaten enthielten, in drei Fällen die Nitratwerte nur bis 1999 bzw. 2008 reichten und in einem Fall keine Koordinaten vorlagen.

Es konnte eine LANUV-Messstelle (Mst.-Nr. 40201491) zur Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit außerhalb des Kooperationsgebietes hinzugezogen werden, die als Referenzmessstelle fungiert. Sie liegt etwa 1 km südlich des WSG. Zudem liegen Beschaffenheitsdaten des Mischwassers aus der Brunnengalerie vor.

7.2.2.1 Grundwasserbeschaffenheit

Für den oberen Grundwasserleiter liegen Beschaffenheitsdaten in Form von Vollanalysen und PSM-Analysen für den Zeitraum 1993 bis 2016 vor. In der Vorfeldmessstelle PE09 wurde der PSM-Wirkstoff Bentazon im Zeitraum 1996 und 2006 mit Konzentrationen zwischen 0,17 und 0,68 µg/l nachgewiesen. Der Grenzwert der TrinkwV (2018) wurde damit bis zu 6 bis 7-fach übertroffen. In der Messstelle PE12-I wurden von 1994 bis 1999 regelmäßig geringfügige Überschreitungen des PSM-Wirkstoffes Atrazin festgestellt. Eine weitere Messung erfolgte im Jahr 2006, bei der keine Grenzwertüberschreitung festgestellt werden konnte. Ein Anwendungsverbot für Atrazin gilt seit 1991 gemäß PflSchAnwV (BVL 2009). Damit sind keine neuen Atrazin-Einträge zu erwarten. Die aktuelle Situation kann anhand der vorliegenden Daten nicht bewertet werden.

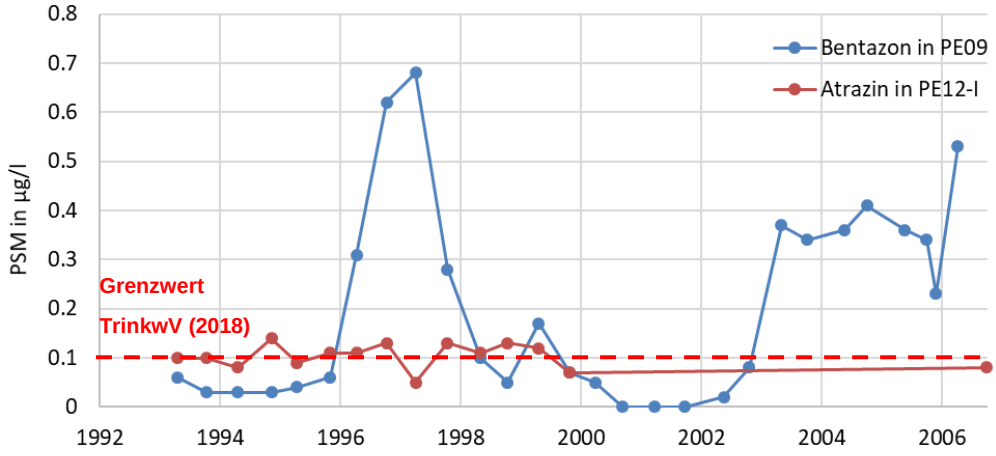


Abbildung 123: Konzentrationsentwicklung ausgewählter PSM-Wirkstoffe im WSG Mussum

Die genannten Messstellen PE09 und PE12-I befinden sich ca. 200 m bzw. 600 m entfernt im direkten Anstrom der Brunnengalerie. Abbildung 123 zeigt die Konzentrationsverläufe mit Bentazon-Spitzenwerten in den Jahren 1997 und 2003 bis 2006. Weitere später eintretende Konzentrationsdurchbrüche, vor allem von Bentazon konnten nicht abgebildet werden, da in beiden Messstellen die Datenaufzeichnung lediglich bis 2006 reichte. Die Aufzeichnungslänge reicht im Datenbestand des Rohwassers der Brunnengalerie von 1993 bis 2016. In diesem Zeitraum wurde keine Grenzwertüberschreitung bei Bentazon bezüglich des Grenzwertes der TrinkwV (2018) festgestellt, seit 2010 gab es keine Befunde des PSM-Wirkstoffes im Rohwasser. Es gab jedoch Befunde nicht-relevanter Metabolite (nrM) des Wirkstoffes S-Metolachlor, die je nach Spezies gesundheitliche Orientierungswerte von 1 bzw 3 µg/l besitzen. Lediglich der nrM CGA380168 hat in den Jahren 2012 und 2014 seinen GOW von 3 µg/l (UBA 2019) mit 3,3 und 3,9 µg/l geringfügig überschritten.

Die Analysen der Hauptinhaltsstoffe liegen für unterschiedliche Zeiträume vor. Der Messbeginn lag in der Regel zwischen 1995 und 2009 und die halbjährlichen Daten reichten bis 2016. Die Chlorid-Konzentrationen liegen bei durchschnittlich 34 mg/l (Maximum 66 mg/l), während mittlere Sulfatgehalte von 104 mg/l mit einem Maximum von 171 mg/l erreicht werden. Die Werte von Hydrogencarbonat zeigen mit 260 mg/l im Mittel und maximal 433 mg/l ebenfalls keine Auffälligkeiten.

Hinsichtlich der Konzentrationsverläufe der o. g. Leitparameter gibt es keine Anzeichen für einen stattfindenden Nitratabbau im Grundwasserleiter. Vom IWW (2006) wurde ein Flächenanteil mit geringem Denitrifikationspotential von 20 bis 40% ausgewiesen, was auf ein begrenztes Abbaupotential hinweist.

Im Hinblick auf die Nitratkonzentrationen lässt sich eine hohe Spannweite feststellen (s. Abbildung 124). Das Intensivberatungsgebiet (Prämienmodell) weist zeitlich gemittelte Nitratwerte von 20 bis 100 mg/l auf, wobei Median und Mittelwert bei ca. 50 mg/l liegen. Hohe Konzentrationen >50 mg/l treten dabei im zentralen Anstrom auf, während mittlere (10 bis 25 mg/l) bzw. mäßige bis hohe Nitratkonzentrationen (25 bis 50 mg/l) jeweils im nördlichen und südlichen Anstrom auftreten (s. Anhang 10.2.2). Im Zeitraum 2014 bis 2016 befanden sich die Medianwerte auf einem ähnlichen Niveau.

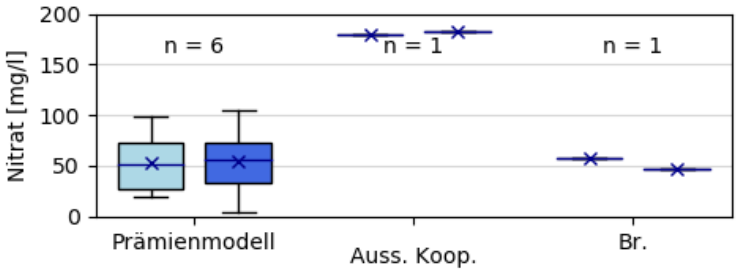


Abbildung 124: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Mussum für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 (dunkelblau);

Die Referenzmessstelle außerhalb des Kooperationsgebietes einen Kilometer südlich zeigt eine wesentlich höhere Nitratkonzentration von ca. 180 mg/l. Diese ist als einzelne Messstelle zwar nicht repräsentativ für das gesamte Umfeld des Wasserschutzgebietes, zeigt aber, dass die Nitratkonzentrationen außerhalb des WSG wesentlich höher liegen können. In den Jahren 2014 bis 2016 lagen die Konzentrationen ebenfalls auf dem hohen zeitlich gemittelten Niveau von ca. 180 mg/l.

Das Rohmischwasser der Brunnengalerie zeigt für den analysierten Zeitraum 1993 bis 2016 gemittelte Nitratkonzentrationen von 60 mg/l. Im aktuell betrachteten Zeitraum 2014 bis 2016 lagen die Konzentrationen knapp unter 50 mg/l.

7.2.2.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Von zentraler Bedeutung für die Bewertung der Kooperationsmaßnahme ist nicht nur die Grundwasserbeschaffenheit im WSG hinsichtlich Nitrat, sondern die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen. Im Fall des WSG Mussum zeichnen sich hinsichtlich der Bewertung nicht nur Schwächen bei der Datenmenge ab, sondern die Messzeiträume sind bei den untersuchten Grundwassermessstellen meist unterschiedlich. Diese Inkonsistenzen beeinflussen die Analyse maßgeblich, werden jedoch im Folgenden berücksichtigt.

Die ermittelten Steigungen der Grundwassermessstellen sind in Abbildung 125 dargestellt und geben die mittlere Nitratzunahme bzw. -abnahme der linearen Regression für den untersuchten Zeitraum an. Zusammen mit der Untersuchung der statistischen Signifikanz geben sie Aufschluss über die langfristigen Nitratentwicklungen. Detailbetrachtungen zur Detektion von Trendumkehren finden anhand der Ganglinienanalyse statt und werden für ausgewählte Messstellen ausgeführt. Die Steigungen weisen im Intensivberatungsgebiet sowohl positive als auch negative Werte auf und reichen von -1,5 bis etwa 3,5 mg/l Nitrat pro Jahr. Der Median liegt bei etwa -0,5 mg/l.

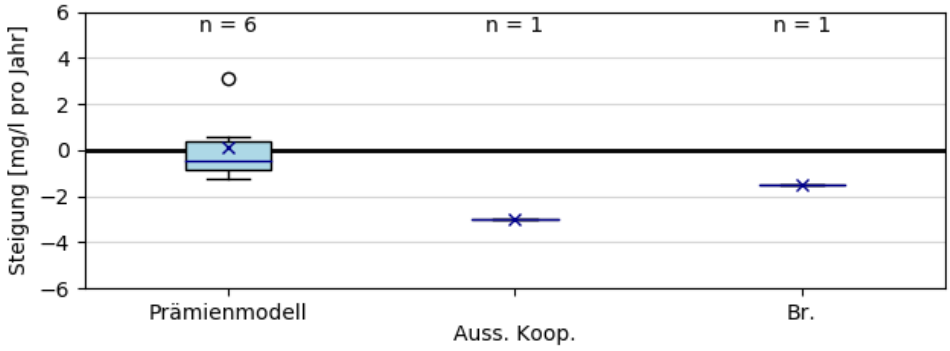


Abbildung 125: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Mussum

Die Signifikanz ist nur in der Hälfte der Stichprobe gegeben (s. Abbildung 126), wobei eine Messstelle einen signifikant fallenden Trend aufweist und zwei GWM signifikant steigende Trends. Die Messstelle

mit fallendem Trend (PE13) liegt ca. 100 m vor dem nördlichen Teil der Brunnengalerie. Die Ganglinie in Abbildung A 10.3.2 – 1 (s. Anhang 10.3.2) bestätigt dies für den Zeitraum 1996 bis 2016, jedoch ist im Jahr 2009 eine Trendumkehr zu beobachten. Die beiden Messstellen mit signifikant steigenden Trends im Intensivberatungsgebiet (PES16 und PE25) liegen jeweils im nördlichen bzw. zentralen Grundwasseranstrom in 1000 m bzw. 500 m Entfernung von der Brunnengalerie. Der Messbeginn liegt hier jedoch jeweils im Jahr 2000 bzw. 2009, weshalb der Vergleich der Trends problematisch ist.

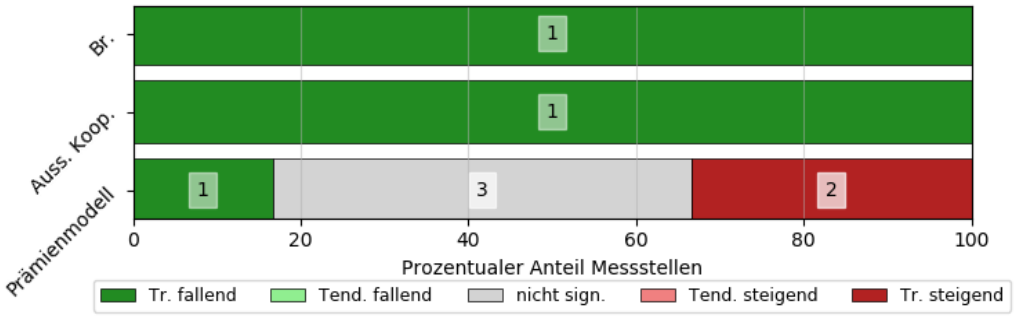


Abbildung 126: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Mussum

Die Ganglinien zeigen eine deutliche Entwicklung des Trends im gesamten Wasserschutzgebiet. In der Zeit bis 2009 weisen alle Grundwassermessstellen mit Messbeginn meist ab Ende der 90er Jahre einen stark fallenden Charakter auf, der dazu führte, dass die Nitratwerte unter 50 mg/l sanken. Das IWW (2006) arbeitete bereits für den Zeitraum bis 2003 heraus, dass ein enger Zusammenhang zwischen den Maßnahmen zur Extensivierung der Flächennutzung und den deutlich zurückgehenden Nitratgehalten des Rohwassers besteht. Dies kann mit den vorliegenden Daten grundsätzlich für den Zeitraum von Kooperationsbeginn bis ca. 2009 für die Vorfeldmessstellen und die Nitratentwicklung im Rohwasser bestätigt werden.

In vier von sechs Messstellen herrschen seit 2009 steigende Nitratkonzentrationen. Bei einer partiellen Trendanalyse wäre zu erwarten, dass diese sich durch eine statistische Signifikanz auszeichnen. Die Steigungen können aus den Ganglinien in Abbildung A 10.3.2 – 1 abgeschätzt werden und liegen bei ca. 3 mg/l Nitratzunahme pro Jahr. Dies führt dazu, dass drei von sechs Vorfeldmessstellen im Jahr 2016 erhöhte Nitratkonzentrationen von >50 mg/l aufwiesen.

Die Referenzmessstellen zeigen lediglich fallende Steigungen von -3 bis 0 mg/l*a, die meist nicht signifikant sind. Die sich einen Kilometer südlich befindliche stark belastete LANUV-Messstelle 40201491 besitzt eine Abnahmerate von -3 mg/l pro Jahr. Gegenwärtig liegt die Konzentration jedoch weiterhin auf dem zeitlich gemittelten Niveau. Der scheinbare Widerspruch ist auf eine Trendumkehr zurückzuführen. Nach einem starken Abfall auf 120 mg/l Nitrat, steigen die Konzentrationen seit 2001 wieder.

Die Trendanalyse der Brunnengalerie zeigt für den Untersuchungszeitraum 1993 bis 2016 einen signifikant fallenden Trend mit einer Rate von ca. -1,5 mg/l pro Jahr. Nach der Ganglinie in Abbildung A 10.3.2 – 2 (s. Anhang 10.3.2) sank die Konzentration bis 2009 von 75 mg/l auf 40 mg/l. Seitdem stagnieren die Werte auf dem Niveau zwischen 40 und 50 mg/l mit leicht steigender Tendenz. Die zuvor ermittelten Konzentrationsanstiege in den Vorfeldmessstellen spiegeln sich damit auch im Rohmischwasser wider.

7.2.2.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Kooperation im WSG Mussum besteht seit 1993. Das primär auf Maßnahmenförderung setzende Konzept wurde im Jahr 2011 auf ein Intensivberatungsgebiet mit Prämienmodell erweitert. Das Gebiet zeigt im nördlichen Anstrom geringe bis mäßige (10 bis 25 mg/l) sowie im zentralen und südlichen Anstrom mäßige bis hohe (25 bis 50 bzw. >50 mg/l) Nitratkonzentrationen. Im Vergleich zu einer außerhalb des Kooperationsgebietes gelegenen LANUV-Messstelle im nahen Umfeld, die zeitlich gemittelte Werte von 180 mg/l aufweist, sind die Konzentrationen vergleichsweise gering und deuten an, dass sich das Kooperationsgebiet von seinem Umfeld durch geringere Nitratgehalte abhebt. Ohne die

Kooperationsarbeit wären die Konzentrationen im WSG womöglich höher. Aufgrund der kleinen Stichproben sind jedoch keine gesicherten Aussagen zur Konzentrationsverteilung von Nitrat im nahen Umfeld außerhalb des WSG Mussum möglich. Der Vergleich ist daher mit Vorsicht zu betrachten.

Die Herbst-N_{min}-Gehalte von durchschnittlich 46 kg N/ha (flächengewichtet) zeigen angesichts der hohen Viehbesatzdichte im Gebiet (s. Kapitel 7.1.2) geringe bis moderate Werte an. Lokal wird dieser Wert jedoch überschritten, wodurch hohe Eintragspotentiale in definierten Bereichen entstehen. Dies erklärt ggf. die heterogene Verteilung von Nitrat im Grundwasser. Das nicht vorhandene bis nur lokal schwach ausgeprägte Nitratabbaupotential kann dem Eintrag nicht signifikant entgegenwirken.

Die Nitratganglinien zeigen seit 2009 stark steigende Nitratkonzentrationen mit Zunahmeraten von ca. 3 mg/l pro Jahr in den Vorfeldmessstellen. Aufgrund der Sickerwasserverweilzeiten von meist <5 Jahren wäre ein Eintritt der Wirkung des im Jahr 2011 eingeführten Prämienmodells mittlerweile zu erwarten. Es ist jedoch noch nicht erkennbar, dass das Prämienmodell der Entwicklung steigender Nitratkonzentrationen entgegenwirkt. Die Nitratgehalte bezogen auf den aktuellen Zeitraum 2014 bis 2016 bestätigen dies, da sie sich weiterhin auf ähnlichem Niveau wie die über den gesamten Zeitraum gemittelten Nitratwerte befinden. Damit ist auf Grundlage der vorliegenden Daten seit der letzten Bewertung durch das IWW (2006) kein deutlicher Kooperationserfolg erkennbar.

Die steigenden Nitratwerte in den Vorfeldmessstellen äußern sich in den Brunnen durch eine Stagnation bzw. leichte Zunahme der Nitratwerte seit 2009/10. Aktuell liegen sie bei ca. 45 mg/l. Das Ziel der Unterschreitung von 50 mg/l Nitrat wird gegenwärtig noch erreicht. Es sollte jedoch damit gerechnet werden, dass die Konzentrationen in den Brunnen weiter ansteigen.

Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass es Ende der 90er Jahre und Mitte der 2000er Jahre häufiger zu Bentazon-Durchbrüchen in einer Grundwassermessstelle (PE09) gekommen ist, die sich 200 m im Anstrom der Brunnengalerie befindet. Obwohl im Rohwasser keine Bentazon-Befunde festgestellt wurden, wird empfohlen, das Messprogramm hinsichtlich PSM in den Vorfeldmessstellen zu prüfen und ggf. anzupassen. Das Messprogramm sollte, sofern nicht praktiziert und möglich, wieder auf die Messstelle PE09 inkl. Bentazon-Analyse ausgedehnt werden.

7.2.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp

Zur Bewertung der Kooperation Flüren-Diersfordt-Blumenkamp wurden 20 GWM (inkl. von vier des LANUV) ausgewählt, die flach in einer Tiefe <10 m verfiltert sind. Zusätzlich wurden die Daten von elf Brunnen ausgewertet. Die elf Brunnen der Anlage Flüren befinden sich im Waldgebiet und sind im Bereich von ca. 10 – 25 m, d. h. im oberen Grundwasserleiter verfiltert. Die Brunnen IV 1 – 4 wurden bereits rückgebaut. Daten für die Brunnen des WW Blumenkamp liegen nicht vor.

Westlich der lokalen Vorflut (Issel) teilt eine NW-SO streichende Grundwasserscheide das WSG in einen östlichen und einen westlichen Teil (s. Anhang 10.2.3). Es konnten Sickerwasserverweilzeiten für acht GWM berechnet werden. Diese liegen zwischen 1 – 4 Jahren und im Mittel bei ca. drei Jahren. Die Verweilzeiten stimmen mit den vom IWW (2011) ermittelten Spannen (2 – 4 Jahre) überein.

Sechs Grundwassermessstellen liegen im Norden außerhalb des Kooperationsgebietes (s. Anhang 10.2.3) und können vergleichend als Referenzmessstellen in die Untersuchung einbezogen werden. Darunter befinden sich vier LANUV-Messstellen. Ihre Zustromgebiete bzw. ihr nahes Umfeld ist meist durch Acker- oder Grünland geprägt, vereinzelt auch durch Wald.

7.2.3.1 Grundwasserbeschaffenheit

Die hydrochemische Situation des oberflächennahen Grundwasserleiters wird anhand der Parameter PSM, Chlorid, Sulfat und vor allem Nitrat beschrieben. Hinsichtlich PSM wurden Maxima einzelner PSM-Wirkstoffe bzw. -Metaboliten für den Zeitraum 2005 – 2011 (Messstellen) und 2000 – 2011 (Brunnen) geliefert. Die Brunnen zeigten in diesen Zeiträumen keine PSM-Befunde, während in zwei GWM (FGM02 und 03_088) Maxima von 0,12 und 0,16 µg/l gemessen wurden. Die Überschreitung des Grenzwertes der TrinkwV (2018) von 0,1 µg/l ist damit nur geringfügig. Da die untersuchten Stoffe jedoch nicht bekannt sind, kann keine umfassende Bewertung erfolgen.

Die verfügbaren Daten zur Nitratentwicklung sind inhomogen und reichen von ca. 1996 bzw. 2005 bis teilweise 2018. Sie liegen im jährlichen Intervall vor. Bei den GWM bestehen teilweise Datenlücken

zwischen 1997 und 2004, bei diversen Brunnen fehlen Daten von 1998 – 2004 bzw. 2014 – 2016. Aus der Karte in Anhang 10.2.3 geht die heterogene Verteilung der Messpunkte und deren zeitliche gemittelten Nitratwerte hervor. Etwa ein Drittel aller GWM liegt im Prämiengebiet, nur eine Messstelle befindet sich im restlichen Maßnahmengebiet. Aus diesem Grund ist eine belastbare Bewertung nur für das Prämiengebiet möglich.

In Abbildung 127 sind die zeitlich gemittelten Nitratwerte dargestellt. Das Prämiengebiet zeigt Spannweiten von einer nitratfreien Messstelle bis zu maximalen Konzentrationen von 85 mg/l. Der Median der zeitlich gemittelten Werte liegt bei ca. 60 mg/l. Für den aktuellen Zeitraum 2014 bis 2016 wurden keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Nitratkonzentrationen festgestellt.

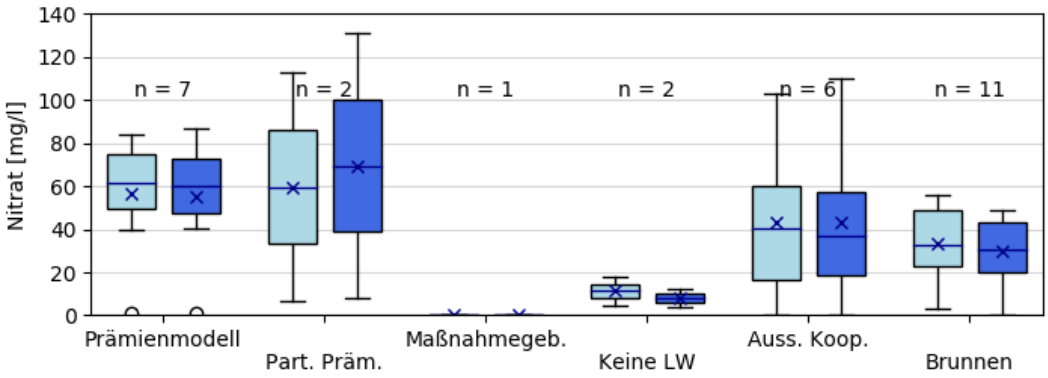


Abbildung 127: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

Lediglich eine Messstelle (17_88) repräsentiert das Maßnahmengebiet mit Förderung des Zwischenfruchtanbaus und ist praktisch nitratfrei. Die GWM P007 und 16/88 liegen am Rand des Prämiengebietes mit extremen Konzentrationen von ca. 5 mg/l und 110 mg/l. Zwei Messstellen wurden identifiziert, die von der im Anstrom liegenden Siedlung geprägt sind (P009 und 15_88T in Kategorie „keine LW“). Sie besitzen Konzentrationen von bis zu 20 mg/l. Außerhalb des Kooperationsgebietes liegen sechs GWM, die als Referenz genutzt werden können. Diese besitzen, ebenso wie die partiell im Prämienmodell liegenden GWM, eine hohe Spannweite bis ca. 100 mg/l Nitrat. Der Median liegt bei 40 mg/l. Die Brunnen zeigen Gehalte bis ca. 60 mg/l mit einem Median von ca. 30 mg/l.

In Abbildung 128 sind repräsentative Nitratganglinien für das Prämiengebiet dargestellt. Insgesamt lässt sich eine zeitliche Konsolidierung der Ganglinien erkennen, so dass aktuell (Mittelwert aus Zeitraum 2014 bis 2016) die meisten Konzentrationen bei 50 bis 60 mg/l Nitrat liegen. In einigen Messstellen sind jedoch zeitweise Nitratmaxima, z. B. im Jahr 2012 zu erkennen, die im Anschluss wieder fallen.

Den hohen Nitratgehalten im oberflächennahen Grundwasserleiter wirken vermutlich Nitratabbauprozesse entgegen. Steigende Redoxpotentiale und fallende Eisenkonzentrationen im Zeitraum 2005 – 2011 deuten jedoch darauf hin, dass das Abbaupotential abnimmt (IWW 2011). Da für die Brunnen lediglich Nitratdaten vorliegen, kann nur für die Vorfeldmessstellen ermittelt werden, ob ein Nitratabbau im Grundwasserleiter stattfindet.

Mithilfe der hydrochemischen Indikatorparameter wurde überprüft, ob eine Nitratreduktion vorliegt. Daten zu Chlorid und Sulfat reichten von Ende der 80er Jahre bis 2011. Hydrogencarbonat- und Eisenkonzentrationen standen für die Auswertung nicht zur Verfügung. Die Aussagefähigkeit ist daher begrenzt. Die Sulfatganglinien deuteten keinerlei Hinweise an. Jedoch wurden in vier Fällen FGM02, 03, 05 und 07 stark erhöhte Nitratkonzentrationen in den Jahren 2006 bis 2011 beobachtet, bei denen sich die Werte verdoppelt bis versechsfacht haben. Beispielhaft zeigt dies eine Ganglinie (orange) in Abbildung 128. Die rapiden Konzentrationsanstiege wurden von Abnahmen des molaren Sulfat-Chlorid-Verhältnisses begleitet, das von > 1 auf 0,2 bis 0,5 sank. Vermutlich handelt es sich um zeitlich begrenzte massive Stoffeinträge, u. a. Nitrat und Chlorid, möglicherweise durch Mineraldünger.

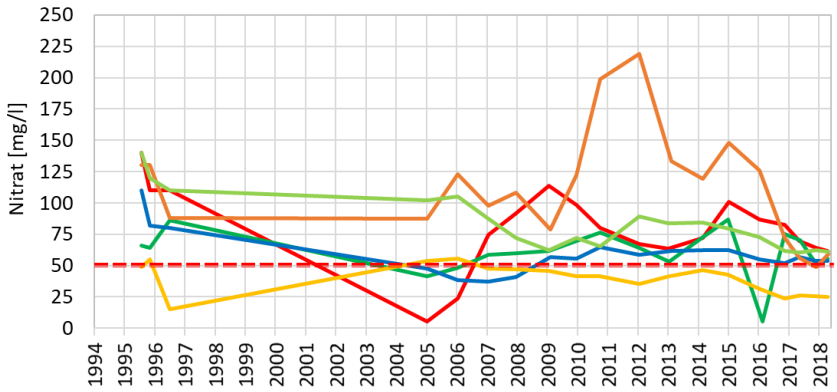


Abbildung 128: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp

7.2.3.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Die Nitratentwicklung wird für den gesamten verfügbaren Zeitraum untersucht. Dafür erfüllten alle GWM die nötigen Kriterien. Aus Abbildung 129 geht die statistische Verteilung der Steigungen hervor. Die im Prämiengebiet liegenden GWM besitzen mittlere Steigungen von knapp über -1 mg/l pro Jahr. Bei zwei GWM sind die Abnahmeraten der Nitratkonzentrationen signifikant, bei einer handelt es sich um eine Tendenz zur Abnahme mit einem Signifikanzniveau von 10% (s. Abbildung 130).

Es gibt keine Messstelle im Prämiengebiet, die signifikant steigende Trends aufweist. Die Ganglinien in Anhang 10.3.3 bestätigen diese Beobachtung. Die fallende Nitratentwicklung wurde von rückläufigen Chlorid- und Sulfat-Gehalten begleitet, die auf einen flächenhaft verringerten Eintrag hindeutet. Die Messstellen FGM02 – 08 zeigen im Vergleich zu den Nitratkonzentrationen in den 90er Jahren verringerte Nitratwerte, jedoch mit oszillierendem Charakter. Die Verringerung der Nitratgehalte führte in diesen GWM zu sehr engen Konzentrationsspannen zwischen 50 und 60 mg/l im Jahr 2018. Bei den Messstellen FGM02 und FGM07 sind starke Konzentrationszunahmen von Nitrat festzustellen, die jeweils in den Jahren 2006 und 2010 beginnen. Sie zeichnen sich durch Anstiege von über 100 mg/l in den Folgejahren aus. Die enormen Zunahmen werden von ebenso hohen Anstiegen von Chlorid begleitet und deuten damit auf lokal erhöhte Einträge hin.

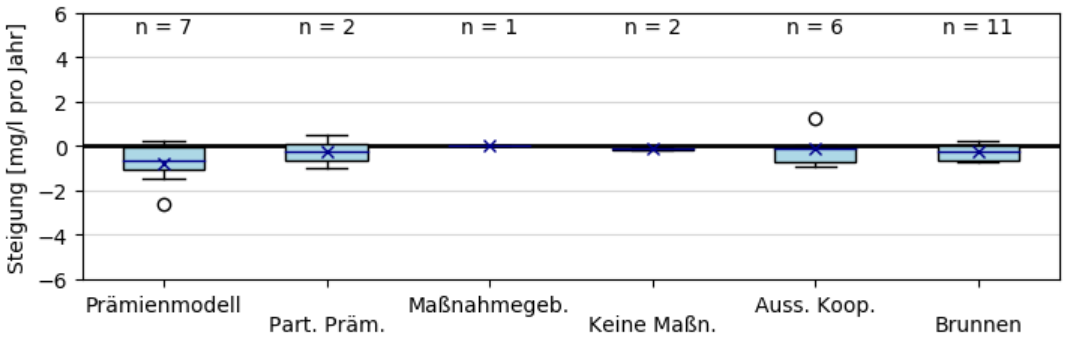


Abbildung 129: Statistischer Überblick zu Steigungen der Nitratentwicklung im WSG Flüren-Diersfordt -Blumenkamp

Die restlichen Kategorien zeigen hinsichtlich der Magnituden der Trends kaum Ausprägungen. Eine Signifikanz ist ebenfalls nur vereinzelt ausgeprägt. Bei der nitratfreien GWM 17/88, die das Maßnahmengebiet repräsentiert, ist kein Trend zu erwarten. Partiell im Prämiengebiet liegende Messstellen zeigen in einem Fall steigende Trends (GWM 16/88), jedoch zeigt die Ganglinie in Anhang 10.3.3 seit 2009 stagnierende Werte zwischen 5 – 10 mg/l.

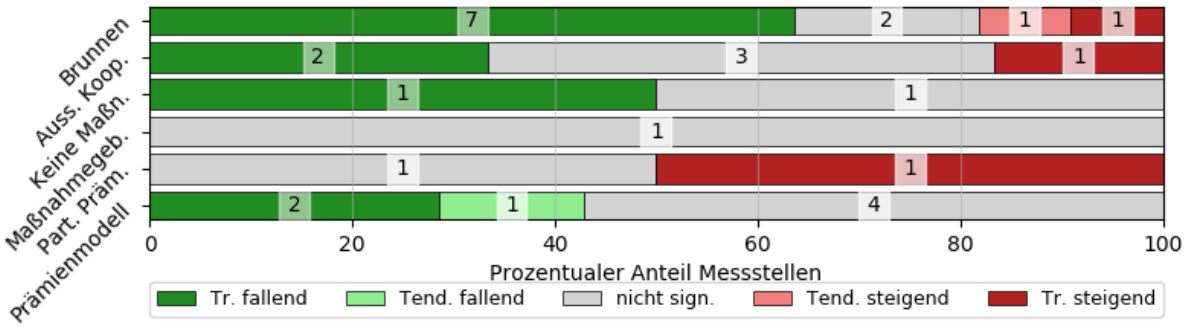


Abbildung 130: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Flüren-Diersfordt-Blumenkamp

Außerhalb des Kooperationsgebietes zeigen sich Steigungen ohne eindeutigen Trend zu fallend oder steigendem Charakter. Vereinzelt liegen die Steigungsbeträge bei ca. +1,2 mg/l pro Jahr bzw. -2 mg/l pro Jahr und sind teilweise signifikant steigend bzw. fallend.

Als Folge des abnehmenden Nitratabbaus wurden erhöhte Nitratwerte in den Rohwässern der Brunnen nach 2011 erwartet (IWW 2011). Die Ganglinien in Anhang 10.3.3 zeigen, dass dieser Fall nicht eingetreten ist. Die bis 2013 reichenden bzw. von 2014 bis 2016 mit Lücken behafteten Daten zeigen, dass sich die Nitratgehalte seit 2011 weiter verringert haben. Bei ihrer jeweiligen letzten Messung lagen die Konzentrationen in den Brunnen unter dem Nitratgrenzwert der TrinkwV (2018) von 50 mg/l. Sieben von elf Brunnen zeigen rückläufige Nitratgehalte mit statistischer Signifikanz. Nur etwa zwei Brunnen deuten signifikant steigende Trends bzw. Tendenzen an. Dabei handelt es sich um Brunnen 4 und 5, die zunächst nur in den 1990er Jahren steigende Nitratentwicklungen erfuhren (s. Anhang 10.3.3, Abbildung A 10.3.3 – 4), mittlerweile jedoch stagnierende Verhältnisse bzw. seit 2005 sogar fallende Nitratgehalte aufweisen. Der Median der Steigungen in den Brunnen liegt bei etwa -0,2 mg/l Nitrat pro Jahr.

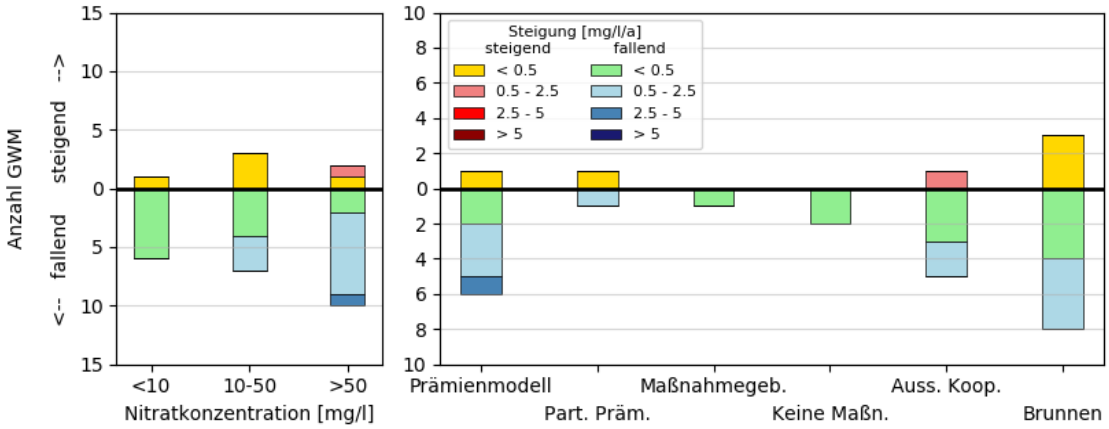


Abbildung 131: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Nitratkonzentrationsklasse (links) und Maßnahme (rechts) in Flüren-Diersfordt-Blumenkamp

Die geringen Magnituden der Abnahmeraten, die sich bereits zuvor angedeutet haben, manifestieren sich auch in Abbildung 131. Die meisten GWM befinden sich in den Nitratklasse 10 – 50 mg/l oder >50 mg/l und weisen fallende Nitratentwicklungen auf. Es deutet sich eine Abhängigkeit zwischen Nitratklasse und Magnitude an, da die Nitratabnahmerate in der höheren Nitratklasse in der Regel höher ist. Die meisten GWM mit diesen Charakteristika liegen im Prämiengebiet. Der Vergleich mit den außerhalb liegenden Messstellen zeigt, dass der Anteil fallender GWM ähnlich ist, die Abnahmerate im Prämienmodell jedoch höher liegt.

Der Vergleich des Gebietsmittelwertes der jährlichen Nitratkonzentrationen im Prämiengebiet mit den Stickstoffüberschüssen (Herbst-N_{min}) in Abbildung 132 ist lediglich für den Zeitraum 2013 – 2017 möglich. Die jährlichen N_{min}-Gehalte liegen in einer Spanne von 30 – 60 kg N/ha und zeigen einen abnehmenden Trend. Das Gebietsmittel der Nitratwerte fällt seit 2012, jedoch gehen der Zeitreihe auch stark steigende Werte voran (s. Ganglinien in Anhang 10.3.3, Abbildung A 10.3.3 – 1). Die beste Korrelation der Wertepaare ergab sich bei relativer Verschiebung um zwei Jahre, was in der Spanne der ermittelten Sickerwasserverweilzeiten von einem bis vier Jahren (Median drei Jahre) liegt. Daraus geht ein Bestimmtheitsmaß von R^2 = 0,66 hervor. Die Korrelationsanalyse stützt sich allerdings auf lediglich vier Datenpunkte und müsste mit zukünftig zu erhebenden Daten verifiziert werden. Dennoch ergibt sich für den untersuchten Zeitraum ein ähnlicher Zusammenhang wie bei den Wasserschutzgebieten Hartefeld und Dülken, der andeutet, dass bei einer Erhöhung oder Verringerung der Herbst-N_{min}-Werte um 10 kg N/ha eine entsprechende Änderung des Nitratwertes in der Größenordnung von 7 mg/l erreicht würde.

Aus den Herbst-N_{min}-Gehalten konnten zusätzlich Sickerwasserkonzentrationen für Nitrat gemäß DVGW & DWA (2019) abgeschätzt werden (s. Abbildung 133). Als Grundlage für die Berechnungen dienten eine flächengemittelte Grundwasserneubildung von 130 mm/a aus dem Modell mGROWA (FZ Jülich 2013) und eine nutzbare Feldkapazität von 90 mm, die aus der BK50 NRW ermittelt wurde.

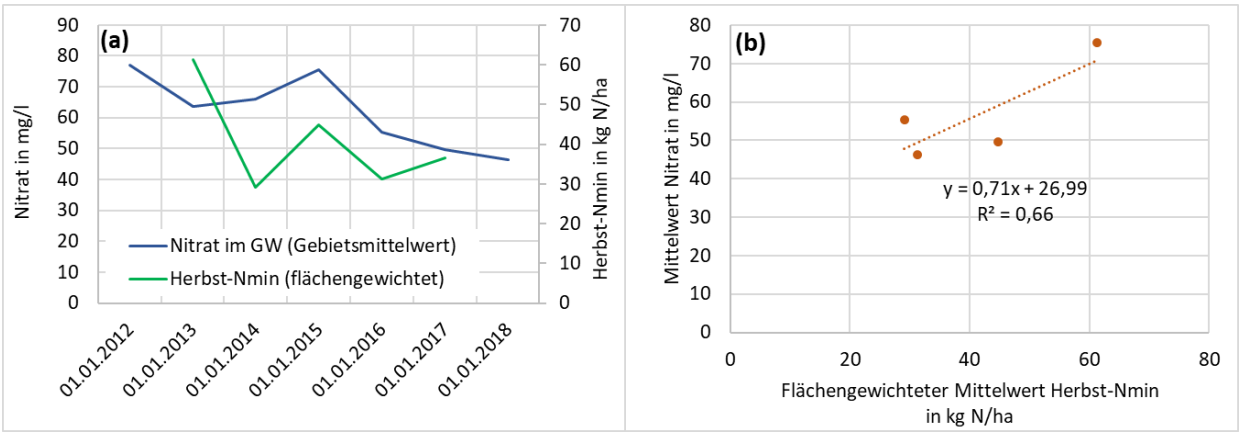


Abbildung 132: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte für das Gebiet mit Prämienmodell (a) und als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von zwei Jahren (b)

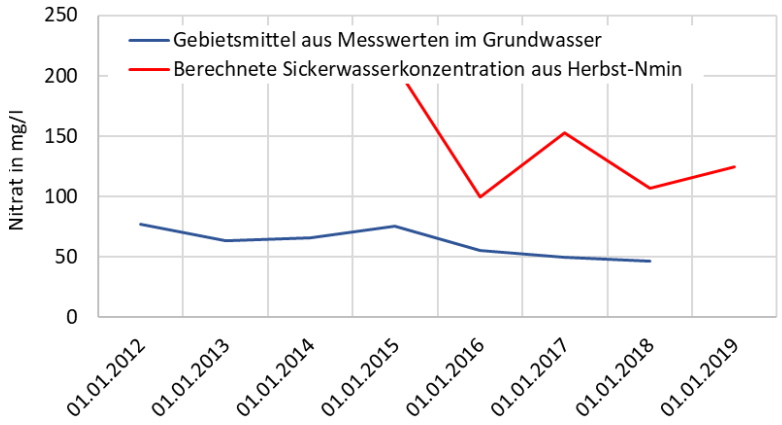


Abbildung 133: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von zwei Jahren

Aus den Abschätzungen ergeben sich relativ hohe Konzentrationen von 100 – 200 mg/l Nitrat, die 50 bis über 100 mg/l über dem berechneten Gebietsmittel im Grundwasser liegen. Möglicherweise ist die Diskrepanz neben Unschärfen bei den Eingangsdaten (z. B. langjährige durchschnittliche Grundwas-

serneubildung) auf einen Nitratabbau in der ungesättigten Zone zurückzuführen. Die fallenden Sickerwasserkonzentrationen im Prämiengebiet werden von fallenden Nitratmittelwerten im Grundwasser begleitet, was einen kausalen Zusammenhang in Form abnehmender Nitrateinträge nahelegt.

7.2.3.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Seit 1993 laufen im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp Kooperationsmaßnahmen zur Verringerung des Nitrateintrags in das Grundwasser. Es wurden für den gesamten Zeitraum Nitratdaten von Brunnen und Vorfeldmessstellen ausgewertet. Aufgrund der Datenlage bzw. Verteilung der Grundwassermessstellen konnte das sonstige Maßnahmengebiet mit Förderung des Zwischenfruchtanbaus östlich der Grundwasserscheide nicht ausgewertet werden. Im Gebiet westlich der Grundwasserscheide wurde die Kooperationstätigkeit im Jahr 2013 erweitert (Kooperationsmaßnahmen zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung). Obwohl die bisherigen Maßnahmenerfolge aufgrund der Reaktionszeiten im Grundwasser nicht auf dieses junge Kooperationsmodell zurückzuführen sind, wird es nachfolgend als sog. Prämiengebiet ausgewertet.

Das Prämiengebiet ist im historischen Mittel mit 60 mg/l Nitrat belastet (aktuell ca. 50 bis 60 mg/l), während die nördlich gelegenen Referenzmessstellen (s. Anhang 10.2.3 und eingehende Erläuterung in Kapitel 7.2.3) außerhalb des Kooperationsgebietes mittlere Gehalte von ca. 40 mg/l besitzen. Der Belastungskontrast ist damit nur relativ schwach ausgeprägt. Im Prämiengebiet besitzen zwei der sieben GWM rückläufige Nitratentwicklungen mit klarer statistischer Signifikanz. Die Referenzmessstellen zeigen zwar ebenfalls signifikant fallende Nitratentwicklungen an, jedoch sind die Abnahmeraten im Gebiet mit Prämienmodell höher. Unter der Voraussetzung, dass der Nitrateintrag gegenüber dem Abbau an der Grundwasseroberfläche der dominierende Prozess ist, lässt sich daraus schließen, dass sich die Nitrateinträge in das Grundwasser durch die langjährige Kooperation verringert haben. Insgesamt lässt sich für das Kooperationsgebiet, insbesondere das Prämiengebiet, festhalten, dass ein langfristiger Erfolg besteht, der sich durch eine langsame, jedoch stetige Verringerung der Nitratwerte in den Vorfeldmessstellen auszeichnet. Die Vorfeldmessstellen befinden sich derzeit auf einem Konzentrationsniveau von 50 – 60 mg/l, sodass in den nächsten Jahren der Nitratgrenzwert der TrinkwV (2018) flächendeckend unterschritten werden könnte, wenn entsprechend geringe Herbst-N_{min}-Gehalte erreicht werden.

Die Erfolge sind u. a. auf eine Erhöhung des Grünlandanteils (Herbst-N_{min}-Mittelwert 19 kg N/ha) von 24 auf 32% im Zeitraum 2013 bis 2017 zurückzuführen. Zudem wurde bei der sog. Problemkultur Mais mit einem Flächenanteil von ca. 20% und Herbst-Nmin von 44 kg N/ha mit einem Maßnahmeneffekt von 34 kg N/ha (Differenz zur Kontrastwerte) die Nitrateinträge ebenfalls begrenzt. Geringe Herbst-N_{min}-Gehalte müssen weiterhin flächendeckend angestrebt werden, um einen erneuten Anstieg der Nitratwerte zu vermeiden. Auf Grundlage der N_{min}-Daten wurden Sickerwasserkonzentrationen von ca. 100 bis 200 mg/l abgeschätzt, die teilweise doppelt so hoch wie die im Grundwasser vorgefundenen Nitratkonzentrationen sind. Ein Nitratabbau in der ungesättigten Zone (Bechtel 2008, HYDOR 2017) kann mit den vorliegenden Daten nur vermutet, jedoch nicht vollumfänglich geklärt werden. Der fallende Verlauf unterstützt jedoch die vorangegangenen Erkenntnisse einer Verringerung des Nitrateintrags.

Die Entwicklung der Rohwässer wurde vom IWW (2006) für vorangegangene Zeiträume bewertet. Im Ergebnis zeigten in den 90er Jahren von sechs untersuchten Rohwasser-Probenahmestellen vier keinen signifikanten Trend. In den übrigen zwei Fällen waren die Trends zunächst fallend, wobei sich der Konzentrationsverlauf in einem Brunnen in einen steigenden Trend umkehrte. Seitdem haben sich die Verhältnisse verbessert. Sieben von elf untersuchten Brunnen weisen für den gesamten Zeitraum signifikant fallende Trends auf. In drei Fällen mit steigendem Trend oder Tendenz ist aufgrund der Konzentrationsabnahmen seit Mitte der 2000er Jahre eine Trendumkehr eingetreten.

Anzeichen für einen stattfindenden Nitratabbau konnten durch die Ganglinienanalysen in den Vorfeldmessstellen nicht bestätigt werden. Dies widerspricht jedoch nicht grundsätzlich einem Abbau in tieferen Bereichen des Grundwasserleiters. Laut IWW (2011) zeigen die Brunnen ein Nitratabbaupotential, das in naher Zukunft erschöpft sein soll. Dafür gibt es in den Rohwässern der Brunnen jedoch weiterhin keine Anzeichen. Sie zeigen fallende Nitratwerte und befinden sich mittlerweile überwiegend auf einem Konzentrationsniveau von 40 bis 50 mg/l. Möglicherweise konnte durch die Nitrateintrags-

minderung erreicht werden, dass die Erschöpfung später eintritt. Mit einer solchen Änderung der natürlichen hydrogeochemischen Verhältnisse, die sich nachteilig auf die Nitratentwicklung auswirken kann, sollte allerdings weiterhin gerechnet werden.

7.2.4 Hartefeld

Zur Beschreibung der Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwasserleiters waren insgesamt 56 Grundwassermessstellen und vier Brunnen verfügbar. Es konnten Daten von acht Referenzmessstellen, darunter drei LANUV-Messstellen, zur Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit außerhalb des Kooperationsgebietes verwendet werden. Die Ausbautiefe der im nördlichen Teil des WSG befindlichen Brunnen liegt bei 10 bis 20 m, in der gleichen Tiefe sind auch die Vorfeldmessstellen im südlichen Anstrombereich verfiltert.

Die Fläche des Kooperationsgebietes wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt, es handelt sich zumeist um Ackerstandorte, Grünland tritt nur untergeordnet auf. Die Ortslage der Gemeinde Hartefeld befindet sich in der Schutzzone III A des Wasserschutzgebietes. Waldflächen treten nur sehr untergeordnet unmittelbar südlich der Förderbrunnen im Norden des WSG auf. Der Flurabstand liegt im Norden des WSG bei rund 2 bis 3 m und im Süden bei etwa 4 bis 5 m.

7.2.4.1 Grundwasserbeschaffenheit

Es liegen Nitrat- und Sulfatdaten für den Zeitraum 2003 bis 2016 im jährlichen Intervall vor. Die Sulfat-Werte liegen zwischen 20 – 200 mg/l mit einem Median von 113 mg/l. Im zeitlichen Verlauf zeigen sie einen stagnierenden bzw. leicht fallenden Charakter.

Abbildung 134 liefert einen Überblick zu zeitlich gemittelten Nitratwerten in den einzelnen Messstellen, die anhand der Lage ihrer Zustromgebiete bzw. ihrer Aufschlussart in die Kategorien Prämienmodell, Beratungsgebiet, außerhalb des Kooperationsgebietes liegende Grundwassermessstellen sowie Brunnen gegliedert wurden. In 27 von 60 Messstellen übersteigen die Nitratmittelwerte im Zeitraum von 2003 bis 2016 den Grenzwert der GrwV (2017) von 50 mg/l. Das Gebiet des Prämienmodells, repräsentiert durch 20 GWM, hebt sich mit einem hohen Median von ca. 65 mg/l Nitrat deutlich von den übrigen Gebieten ab. Dies ist auf die lokalen Standortverhältnisse (sandigere Böden mit geringem Nitratabbaupotential, möglicherweise düngeintensive Fruchtfolgen etc.) zurückzuführen. Es werden also im Gebiet, das am höchsten mit Nitrat belastet ist, die größten Anstrengungen hinsichtlich nitratmindernder Maßnahmen unternommen. Der Sachverhalt lässt sich anhand der Konzentrationsverteilung und des ausgewiesenen Prämiengebietes in Anhang 10.2.4 nachvollziehen.

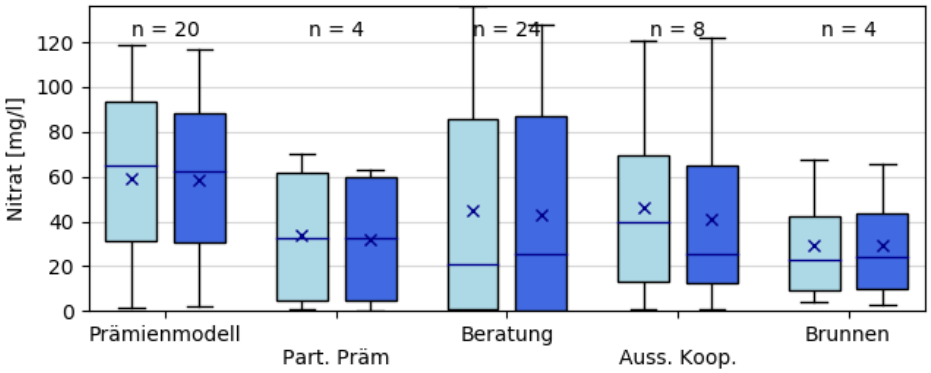


Abbildung 134: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Hartefeld für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

Innerhalb der Schutzzone III A befinden sich im Norden und Westen überwiegend GWM mit geringen Nitratkonzentrationen (< 10 mg/l), während im südöstlichen Teil der Zone III A (Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell) nahezu ausschließlich GWM mit hohen Nitratkonzentrationen > 50 mg/l befinden. Der westliche Teil wurde vom Gewässerschutzbeauftragen als Zone mit erhöhtem potentiellen Nitratabbau aufgrund der Standortverhältnisse ausgewiesen (Bieske und Partner, 2013b). Das Nitratabbaupotential kann anhand der vorliegenden Grundwasserdaten, die lediglich aus Nitrat und Sulfat

bestehen, nicht nachvollzogen werden. Lediglich die sehr geringen Nitratkonzentrationen sowie eine Lehmüberdeckung von ca. 0,5 m im westlichen Teil des Gebietes zur Begrenzung der Sauerstoffzufuhr deuten auf die Existenz einer solchen Zone hin.

Das Beratungsgebiet (Anzahl der GWM = 24) zeigt eine enorme Streuung von nahezu nitratfreien GWM bis zu Konzentrationen von über 130 mg/l. Der Median liegt bei 20 mg/l, daher besitzt der überwiegende Teil der Messstellen geringe bis moderate Nitratkonzentrationen < 20 mg/l. Die Streuung der Messwerte spiegelt die Heterogenität des Beratungsgebietes wider, das überwiegend tonig-schluffige Böden im Süden und stark lehmig bis sandige Böden im nördlichen Teil aufweist. Lokal können die Sandanteile höher sein. Die räumliche Verteilung der Fruchtfolgen spielt dabei ebenfalls eine Rolle.

Die Referenzmessstellen, teilweise aus dem Bestand des Wasserversorgers oder extern über das LANUV recherchiert, zeigen kein einheitliches Bild. Die Konzentrationen variieren von < 10 bis > 50 mg/l Nitrat. Der Median liegt bei 40 mg/l, der Maximalwert beträgt 120 mg/l.

Die Nitratkonzentrationen im Kooperationsgebiet zeichnen sich durch entsprechend hohe Nitratgehalte in den Brunnen ab. Der maximale gemittelte Wert liegt bei etwa 70 mg/l, der durch Brunnen 6 erreicht wird. Brunnen 5E besitzt ebenfalls hohe Gehalte zwischen 25 – 50 mg/l. Die übrigen Brunnen 3 und 4 zeigen geringe Konzentrationen von < 10 mg/l. Der Brunnen 2E stellt mit der höchsten Förderrate und einem Konzentrationsniveau von knapp über 10 mg/l die Förderleistung und Wasserqualität des Wasserwerkes sicher.

In Abbildung 135 sind Ganglinien aufgeführt, die repräsentative Nitratverläufe widerspiegeln. Alle weiteren Ganglinien befinden sich in Anhang 10.3.4. Gegenwärtig liegen die Konzentrationen teilweise auf einem ähnlichen Niveau wie Mitte der 2000er Jahre bzw. um bis zu etwa 10 bis 20 mg/l niedriger. Die Spannweite im Jahr 2016 war mit nitratfreien Verhältnissen bis Maximalwerten von 125 mg/l in Einzelfällen weiterhin hoch. Auffällig ist bei einigen Messstellen der sprunghafte Nitratabfall im Jahr 2010, auf den im Kapitel 7.2.4.3 eingegangen wird.

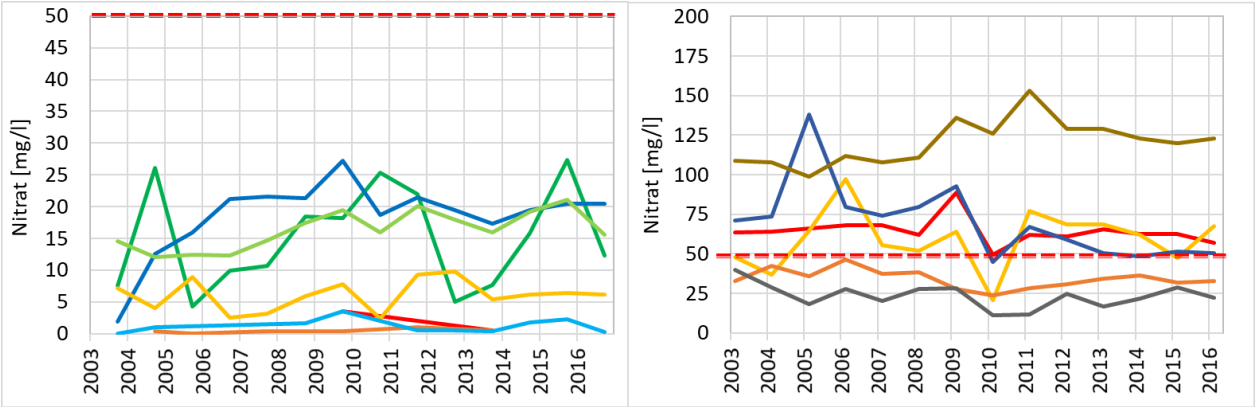


Abbildung 135: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Hartefeld

7.2.4.2 Stimulation des natürlichen Nitratabbaupotentials in der ungesättigten Zone

Das Nitratabbaupotential wird im östlichen Teil des Gebietes auf dem Versuchsgelände der Hartefelder Heide nahe der Pegel 32 und Pegel 33 (bzw. G32 und G33) durch Anreicherung des Oberbodens mit organischem Material gefördert und seit 2007 die Wirkung anhand der Nitratkonzentration im Sickerwasser überprüft. Die hydrochemischen Parameter wurden im Sickerwasser in unterschiedlichen Tiefen auf drei Testschlägen ohne Stroheinarbeitung, mit 8 t/ha sowie mit 16 t/ha Strohzugabe untersucht. Die DOC-Konzentrationen betrugen im Sickerwasser auf dem Schlag ohne Stroheinarbeitung im Mittel etwa 5 bis 10 mg/l und bei den beiden Schlägen mit Stroheinarbeitung 50 bis 200 mg/l.

In Abbildung 136 sind für die drei Testschläge die Nitratwerte der Sickerwässer in je drei Tiefenlagen aufgetragen, woran die Tiefenverlagerung des Nitrats einerseits und der Nitratabbau andererseits nachvollzogen werden kann. Auf dem Schlag 1.1 fand keine Strohzugabe statt, daher dient dieser Schlag (Abbildung 136, oben) als Referenz. Grundsätzlich lassen sich auf allen Schlägen und Tiefen

Konzentrationsmaxima im Winter 2007/2008, Frühjahr 2012 und Sommer 2016 bis Frühjahr 2017 feststellen, die auf die N-Bindung, -Mineralisierung und –Auswaschung, verursacht durch die Vegetationsphasen, Bodenbearbeitung und die Niederschlagsverhältnisse, zurückzuführen sind.

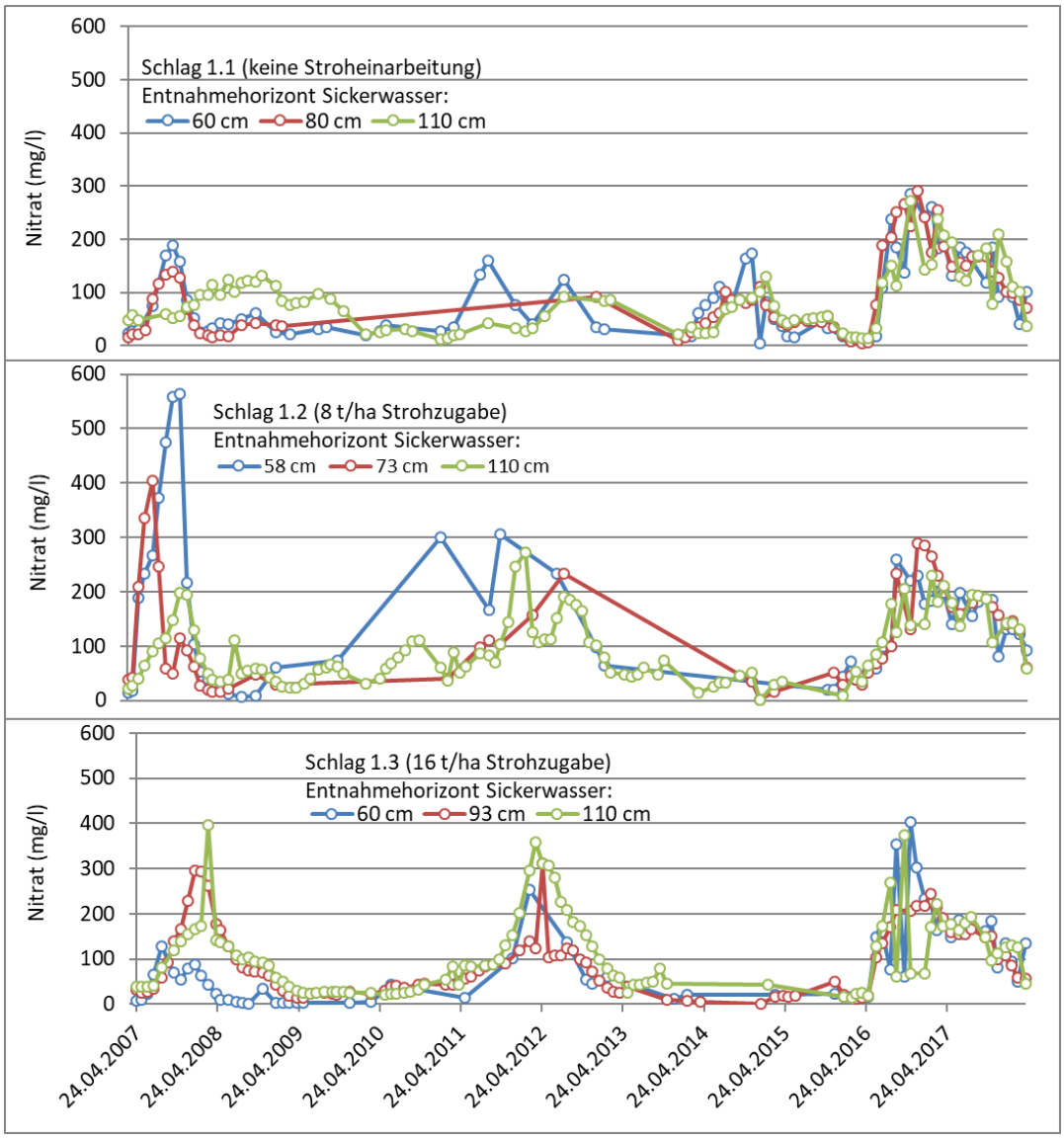


Abbildung 136: Nitratentwicklung im Sickerwasser in Hartefeld auf den Testschlägen 1.1, 1.2 und 1.3

Im Winter 2007/2008 betrug die Nitratkonzentration in 60 cm Tiefe maximal 200 mg/l und in 80 cm Tiefe 150 mg/l. Im Tiefenniveau von 110 cm trat zeitverzögert um Monate später eine Nitratkonzentration von ca. 100 mg/l ein, die eher als Plateau statt als Peak ausgebildet war. Die abnehmenden Konzentrationen können durch fortschreitende Nitratabbauprozesse erklärt werden, die den vertikalen Transport des Nitrats mit dem Sickerwasser begleiten. In diesem Zeitraum können ähnliche Prozesse auf dem Testschlag 1.2 beobachtet werden, auf dem 8 t/ha Stroh eingearbeitet wurden. Die starke Verringerung von 550 mg/l in 58 cm Tiefe auf 200 mg/l in 110 cm Tiefe können als schwaches Anzeichen für einen verstärkten Nitratabbau gesehen werden. Im Erläuterungsbericht zu den Versuchen kommt Bieske und Partner (2013c) ebenfalls zu dem Ergebnis, dass schwache negative Korrelationen zwischen gelöstem organischem Kohlenstoff und Nitrat Hinweise auf die Denitrifizierung in der ungesättigten Zone durch organische Substanz liefern. Deutliche Hinweise oder gar Nachweise für eine signifikante Stimulation der Denitrifikation bleiben jedoch aus.

Auf dem Testschlag 1.3 mit der höchsten spezifischen Menge an eingearbeitetem Stroh ist mit zunehmender Tiefe eher eine N-Mineralisierung zu beobachten. Zu den übrigen oben genannten Zeitpunkten mit markanten Konzentrationsverläufen, bewegen sich die Nitratkonzentrationen der Tiefenstufen auf vergleichbaren Niveaus. Auch zwischen den Schlägen lassen sich keine markanten Unterschiede in den Konzentrationsverläufen wiederfinden. Deutliche Anzeichen einer Stimulierung des natürlichen Nitratabbaus in der ungesättigten Zone durch eine Steigerung des C_{org}-Gehaltes im Boden kann damit nicht festgestellt werden.

Die Grundwassermessstellen G32 und G33 (auch bekannt als Pegel 32 und Pegel 33) können zur Bewertung des Pilotprojektes hinsichtlich seiner nitratmindernden Wirkung auf das Grundwasser herangezogen werden (s. Abbildung 137). Der Flurabstand beträgt in diesem Gebiet etwa 2,5 m. Im Grundwasseranstrombereich (G32) sind temporär steigende und fallende Tendenzen hinsichtlich der Nitratentwicklung zu beobachten, jedoch bewegen sich die Nitratwerte meist zwischen 60 und 80 mg/l. Die sich im Abstrom befindliche G33 zeigt seit 2013 leicht sinkende Nitratkonzentrationen von 65 mg/l auf ca. 60 mg/l. Die Nitrat-Maxima im Sickerwasser der Jahre 2007/2008, 2012 und 2016/2017 sind jedoch nicht wiederzufinden.

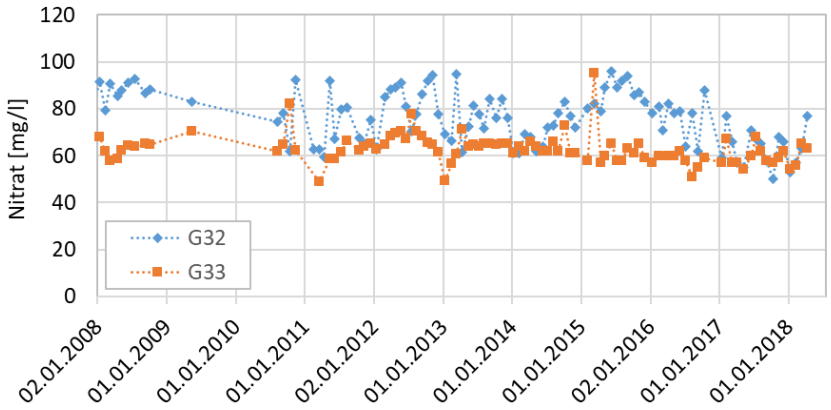


Abbildung 137: Nitratentwicklung im Grundwasseranstrom (G32) und –abstrom (G33) des Pilotstandorts in Hartefeld

7.2.4.3 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Aus Abbildung 138 gehen die Steigungen der Nitratentwicklungen, d. h. die Konzentrationsänderungen in mg/l pro Jahr, hervor. Mit einer Ausnahme erfüllten alle GWM die dafür erforderlichen Kriterien. Im Allgemeinen sind die Steigungen der Nitratentwicklungen gering, d. h. die Beträge übersteigen nur in Ausnahmefällen 1 mg/l pro Jahr. Die Mediane zeigen nahezu ausnahmslos Nitratfreiheit an, d. h. die Nitratentwicklungen stagnieren überwiegend. Im Beratungsgebiet wurde eine Messstelle aufgrund mangelnder Daten aus der Trendanalyse ausgenommen. Im Ergebnis lassen sich nur vereinzelt höhere Steigungsbeträge als in den übrigen Gebieten, die in Abbildung 138 als Ausreißer gekennzeichnet sind, feststellen. Für das Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell deuten sich hingegen bedeutende Trendentwicklungen an. Der Median und Mittelwert liegen bei ca. -0,8 mg/l bzw. -0,5 mg/l*a.

Die Signifikanzen der Trends sind in Abbildung 139 dargestellt. In 41 von 60 Messstellen und Brunnen sind keine klaren Trends in Bezug auf das Signifikanzniveau von 5% festzustellen. Der restliche Teil der Grundwassermessstellen besitzt signifikante, teils hydrochemisch schwache Trends. Außerhalb des Kooperationsgebietes liegen zwei GWM (Pegel 20 und Pegel 57) mit steigender signifikanter Nitratentwicklung. Im Beratungsgebiet und dem Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell werden bezüglich der Signifikanz jeweils vier signifikant fallende und eine signifikant steigende Trendentwicklung ermittelt. Trotz insgesamt geringer Signifikanz der Trends, zeichnet sich ab, dass die signifikanten Nitratentwicklungen fallender Natur sind und im Kooperationsgebiet (Beratung bzw. Prämienmodell) liegen. Ein Vergleich zwischen Abbildung 138 und Abbildung 139 impliziert weiterhin, dass aufgrund der Lage des Medianwertes der überwiegende Anteil der nicht-signifikanten Nitratentwicklungen im Prämienmodell eine fallende Natur bzw. im Mittel höhere Steigungsbeträge aufweisen muss.

In einigen GWM im Extensivierungsgebiet (z B. G5, G31, G32) lässt sich bei Betrachtung der Ganglinien in Anhang 10.3.4 (Abbildung A 10.3.4 – 7 bis 9) nach 2008 ein einsetzender Erfolg in Form einer

Nitratabnahme beobachten. In weiteren GWM (z. B. G13, G15, G39, G61, G62, G63) zeichnet sich die Entwicklung nach 2008 durch einen fallenden Nitratsprung um 20 – 40 mg/l zwischen Oktober 2009 und Oktober 2010 aus. Der durchschnittliche Jahresniederschlag (DWD-Station Geldern-Walbeck) von 2000 – 2017 liegt bei 760 mm/a. In den hydrologischen Jahren (Oktober bis September) 2008/2009 und 2009/2010 fielen je 560 mm/a und 880 mm/a. Daher würde man im Feuchtjahr 2009/2010 mit hohen Niederschlägen im September hohe Nitratauswaschungen erwarten. Mit dem fallenden Konzentrationssprung ist jedoch das Gegenteil eingetreten. Daher kann vermutet werden, dass im Feuchtjahr statt einem Auswaschungseffekt ein Verdünnungseffekt eingetreten ist, der möglicherweise durch geringe Herbst-N_{min}-Gehalte verstärkt wurde.

Zwei Grundwassermessstellen innerhalb des Kooperationsgebietes weisen signifikant steigende Nitrattrends auf. Dabei handelt es sich um Pegel 17 im Beratungsgebiet und Pegel 36 im Extensivierungsgebiet (auch bekannt als G17 und G36). Pegel 17 zeigte im Jahr 2003 noch eine Nitratkonzentration von 40 mg/l, die bis 2016 nahezu stetig auf 100 mg/l anstieg. Pegel 36 durchlief eine ähnliche Entwicklung von 20 auf 40 mg/l Nitrat. Beide Grundwassermessstellen sollten aufgrund der signifikanten Anstiege beobachtet werden.

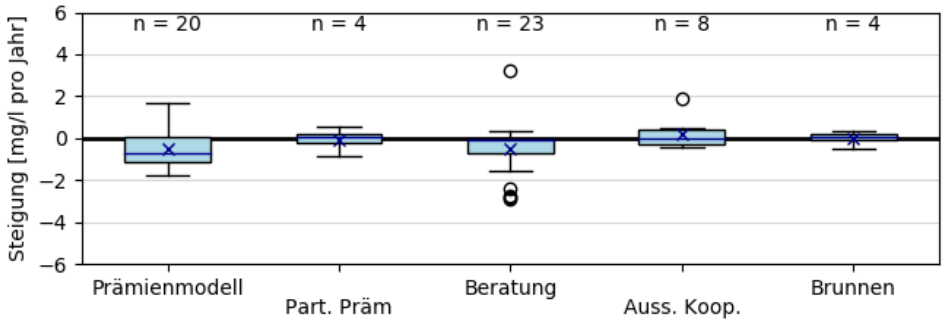


Abbildung 138: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Hartefeld

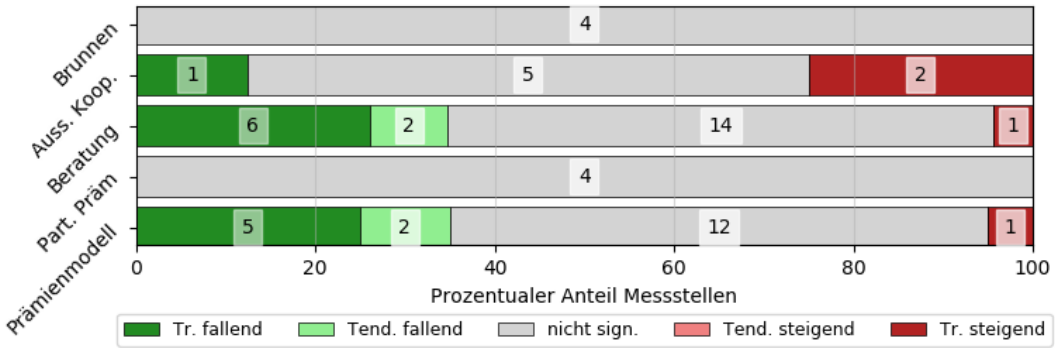


Abbildung 139: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Hartefeld

Bei den Brunnen sind insgesamt keine klaren Nitrattrends mit Signifikanz erkennbar. Sie verharren mit kleineren Abweichungen seit 2003 auf ihren Konzentrationsniveaus von 5 bis 70 mg/l. Dies bestätigt sich im Verlauf der Ganglinien (s. Anhang 10.3.4, Abbildung A 10.3.4 – 11), die nur geringfügige Schwankungen aufweisen.

Die Grafiken in Abbildung 140 zeigen erneut, dass der überwiegende Teil der Messstellen fallende Tendenzen aufweist. Die Gegenüberstellung der Magnitude des Trends und der Nitratklasse (links) verdeutlicht, wie sich die Konzentrationsentwicklungen in den unterschiedlichen Nitratklassen vollziehen. Konzentrationen im Bereich bis 10 mg/l zeichnen sich durch geringe Konzentrationsveränderungen aus, die sich jedoch mit steigender Konzentrationsklasse auch in Richtung höherer Steigungsbeträge bewegen. Bei den hohen Konzentrationen > 50 mg/l weisen etwa 15 Messstellen fallende Nitratkonzentrationen von 0,5 – 2,5 mg/l pro Jahr auf. Bezogen auf die Einteilung nach Lage des Zu-

stromgebietes (Prämien-, Beratungsgebiet und außerhalb des Kooperationsgebietes) sowie Aufschlussart in Abbildung 140 (rechts) wird deutlich, dass mehr als die Hälfte aller Messstellen fallende Tendenzen aufweist und im Kooperationsgebiet (Beratung oder Prämienmodell) liegt. Bei den übrigen Kategorien (Zustrom nur partiell im Prämiengebiet, GWM außerhalb als Referenz und Brunnen) gleicht sich stets die Anzahl an Messstellen mit steigenden Tendenzen mit denen, die fallende Tendenzen aufweisen, aus.

In Abbildung 141 sind die flächengewichteten Herbst-N_{min}-Werte (grün) den mittleren Nitratwerten (blau) im Grundwasser gegenübergestellt. Im Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell (a) liegen die Herbst-N_{min}-Werte zwischen 25 und 40 kg N/ha und stagnieren, während sie im Beratungsgebiet (b) bei 40 und 60 kg N/ha liegen und einen fallenden Charakter aufweisen. Aus den Ganglinien lassen sich ansatzweise positive Korrelationen erkennen, d. h. auf ein Ansteigen der Nmin-Werte folgt ebenfalls ein Anstieg der im entsprechenden Gebiet gemittelten Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Die höchsten Bestimmtheitsmaße wurden nach relativer Verschiebung um ein Jahr erreicht (s. Abbildung 141c), was mit den geringen mittleren Sickerwasserverweilzeiten von teils 2 Jahren und weniger grob übereinstimmt. Die Regressionen deuten darauf hin, dass bei einer Zunahme von 10 kg N/ha Herbst-Nmin eine Erhöhung der Nitratkonzentration von etwa 5 bis 6 mg/l erwartet wird.

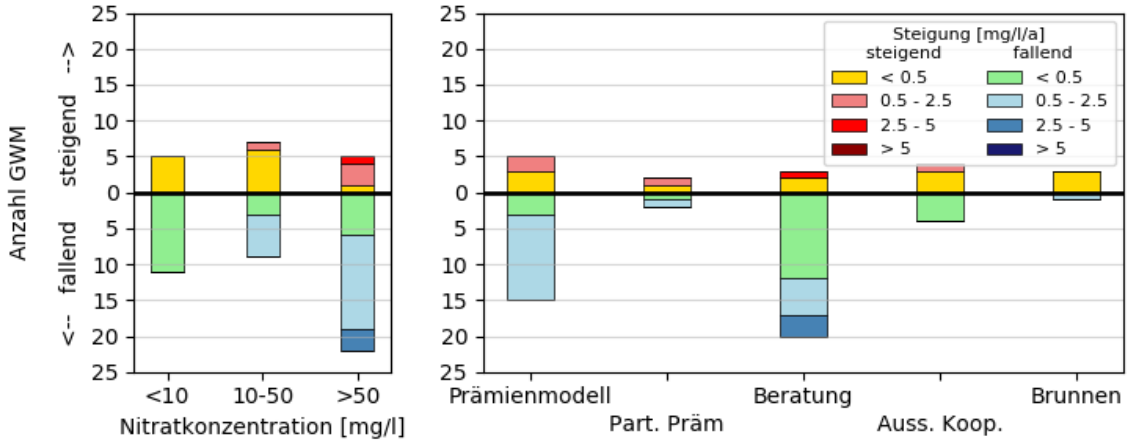


Abbildung 140: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Nitratkonzentrationsklasse (links) und Maßnahme (rechts) in Hartefeld

In Abbildung 142 sind die Herbst-N_{min}-Werte den gemittelten Nitratmesswerten im Grundwasser ausgewählter Messstellen für das Gebiet mit Prämienmodell und das Beratungsgebiet gegenübergestellt. Als mittlere nutzbare Feldkapazitäten wurden jeweils 100 mm für das Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell und 155 mm für das Beratungsgebiet anhand von flächengewichteten Mittelwerten aus der BK50 NRW ermittelt. Für beide Teilgebiete wurde eine durchschnittliche Grundwasserneubildung von ca. 130 mm/a als Gebietsmittelwert aus mGROWA (FZ Jülich 2013) ermittelt. Da die Grundwasserneubildung einer starken Saisonalität unterliegt, stellt der langjährige Durchschnitt nur eine grobe Annäherung dar.

Aufgrund der Verweilzeit in der ungesättigten Zone ist ein zeitverzögertes Signal im Grundwasser zu erwarten. Die mittlere Sickerwasserverweilzeit der ausgewählten Messstellen liegt im Mittel bei ca. 3 Jahren mit einer Spannweite von 0,9 bis 7,5 Jahren, was eine zusätzliche räumliche Unschärfe darstellt und die heterogenen Standortverhältnisse widerspiegelt. Bei den Regressionsanalysen mit jährlichen zeitlichen Verschiebungen wurden daher insgesamt geringe Übereinstimmungen zwischen Herbst-Nmin und Nitratgehalten erreicht. Die maximale Übereinstimmung der Wertepaare wurde nach relativer Verschiebung um ein Jahr erzielt, was jedoch nur lokal den hydrogeologischen Verhältnissen entspricht.

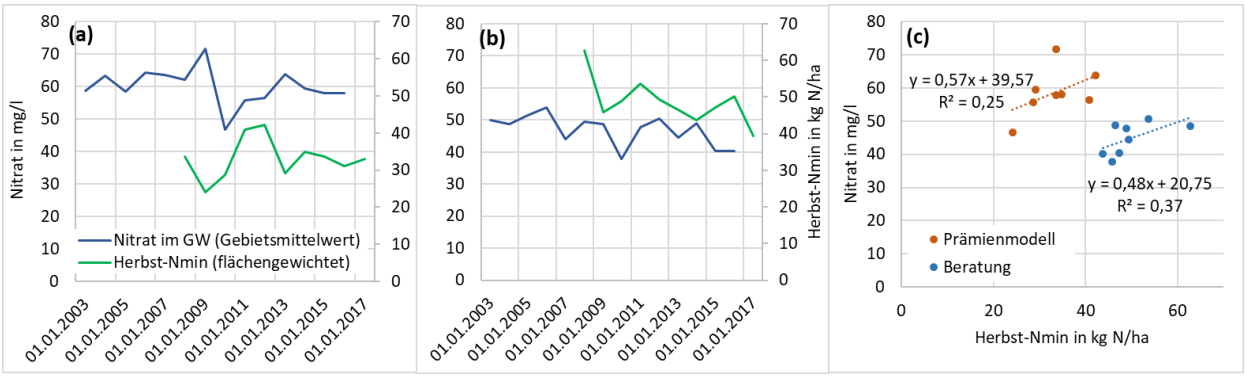


Abbildung 141: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) und Beratungsgebiet (b) sowie als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von einem Jahr (c)

Anhand der Herbst-N_{min}-Daten sowie den oben genannten Angaben zur nutzbaren Feldkapazität und der Grundwasserneubildung konnten Nitrat-Sickerwasserkonzentrationen gemäß DVGW & DWA (2019) abgeschätzt werden. Die Ergebnisse liefern Werte zwischen 80 und 150 mg/l im Prämiengebiet und 110 und 180 mg/l im Beratungsgebiet. Die Konzentrationen bewegen sich in der Spannweite der Sickerwasserkonzentrationen aus dem Pilotversuch zur Erhöhung des Nitratabbaupotentials im Oberboden (Bieske und Partner, 2013c) und werden daher als plausibel eingeschätzt.

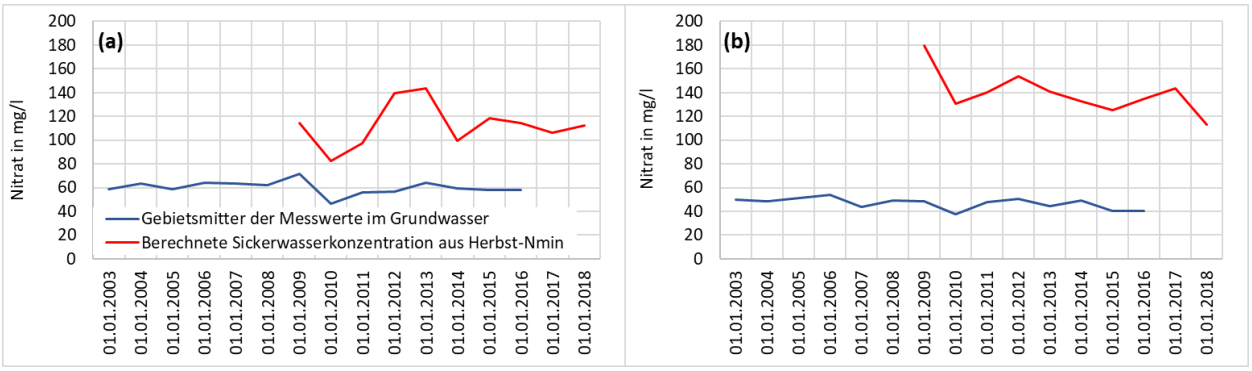


Abbildung 142: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) und Beratungsgebiet (b) in beiden Fällen mit zeitlichem Versatz von einem Jahr

Die Diskrepanzen zwischen den berechneten Sickerwasserkonzentrationen und gemessenen Nitratwerten sind jedoch sehr hoch. Die berechneten liegen über den gemessenen Werten mit auftretenden Abweichungen von bis zu 200%. Die Abweichungen lassen sich sowohl für das Extensivierungs- als auch für das Beratungsgebiet feststellen und spiegeln grundsätzlich die Unschärfe der relevanten Parameter (Grundwasserneubildung, Sickerwasserverweilzeit bzw. Austauschhäufigkeit) wider. Jedoch ist dabei auffällig, dass sie im Prämiengebiet (a) geringer sind als im Beratungsgebiet (b) mit Mittelwerten von jeweils 110 und 140 mg/l. Das Beratungsgebiet mit höherem Eintragspotential ist jedoch geringer mit Nitrat belastet als das Prämiengebiet mit geringeren potentiellen Nitrateinträgen. Dies deutet darauf hin, dass das Nitratabbaupotential in der ungesättigten Zone des Extensivierungsgebietes wesentlich geringer ist als im Beratungsgebiet, was mit bisherigen Beobachtungen von Bieske und Partner (2013c) übereinstimmt. Darüber hinaus wird die Erkenntnis durch die sandigere Ausprägung der Böden im Prämiengebiet gestützt, die ein derartiges geringeres Nitratabbaupotential in der ungesättigten Zone erwarten lassen.

7.2.4.4 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die hydrochemische Bewertung der Nitratentwicklung für das Kooperationsgebiet Hartefeld bezieht sich auf den Zeitraum 2003 bis 2016. Im Rahmen der Analyse wurde das Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell als Gebiet mit den höchsten Nitratkonzentrationen von bis zu 120 mg/l im zeitlichen

Mittel identifiziert. Im Jahr 2016 überstiegen die Konzentrationen weiterhin 50 mg/l und lagen teilweise bei > 100 mg/l. Die räumliche Aufteilung des Kooperationsgebietes (Beratung und Prämienmodell) in Abhängigkeit des Problemdrucks, wie sie im WSG Hartefeld praktiziert wird, kann daher auf Grundlage der Zonierung der Nitratbelastungen als zielführend erachtet werden, da das Extensivierungsgebiet den größten Maßnahmenbedarf aufweist.

Die Unterschiede in den Konzentrationsniveaus sind auf die Standortverhältnisse (Böden, düngespezifische Anbaukulturen etc.) zurückzuführen. Diese spielen auch für den Nitratabbau eine entscheidende Rolle. Auf Grundlage der Messungen der Sickerwasserkonzentrationen von Bieske und Partner (2013c) wird von einem schwachen Nitratabbau in der ungesättigten Zone des Extensivierungsgebietes ausgegangen. Aus zusätzlichen Abschätzungen der Sickerwasserkonzentrationen und dem Vergleich mit Gebietsmittelwerten von Nitrat im Grundwasser, wurde geschlossen, dass dieses Abbaupotential im Beratungsgebiet stärker ausgeprägt ist. Verlässliche Aussagen zum Nitratabbau im Grundwasserleiter können auf Grundlage der vorliegenden Daten jedoch nicht getroffen werden.

Im östlichen Teil des Kooperationsgebietes (Extensivierungsgebiet) laufen Pilotversuche, mit denen das Nitratabbaupotential des Oberbodens durch die Einarbeitung von bis zu 16 t/ha Stroh angeregt werden soll. Ein deutlicher Erfolg konnte jedoch bisher anhand der vorliegenden Daten weder in den Nitratentwicklungen im Sickerwasser, noch im Grundwasserabstrom des Versuchsgeländes bestätigt werden. Dennoch wird die Förderung von C_{org} als sinnvoll angesehen, da trotz fehlenden Nachweises nicht nur ein höheres Abbaupotential von Nitrat in der ungesättigten Zone erwartet werden kann, sondern auch das Bodengefüge und die Wasseraufnahmefähigkeit verbessert werden. Die Förderung des Verbleibs von Ernterückständen, z. B. geschlegeltes Maisstroh (90 €/ha pro Jahr) oder gehäckseltes Getreidestroh (150 €/ha pro Jahr) findet sich daher auch in den Bewirtschaftungspaketen des Kooperationsvertrages wieder.

Die Stagnation der Herbst-N_{min}-Gehalte führt zu überwiegend abnehmenden Nitratentwicklungen, deren Signifikanz in etwa ein Drittel der Messstellen im Kooperationsgebiet ausgeprägt ist. Das Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell wird durch 20 Messstellen repräsentiert, von denen 15 fallende Nitratkonzentrationen aufweisen. In fünf Fällen sind diese fallenden Trends als klar signifikant, in zwei Fällen als Tendenzen mit geringerer Signifikanz identifiziert worden. Im Beratungsgebiet ergibt sich ein ähnliches Bild mit einer Gesamtzahl von 23 GWM, von denen 19 fallende Nitratgehalte aufweisen, davon sechs GWM mit signifikant fallendem Trend und zwei GWM mit fallenden Tendenzen. Im Vergleich mit acht Referenzmessstellen zeigen die Entwicklungen, dass sich die Kooperationsmaßnahmen positiv in den Nitratentwicklungen niederschlagen. Ohne die Maßnahmen wäre womöglich die Anzahl an Grundwassermessstellen mit steigenden Nitratkonzentrationen höher. Die Erfolge sind sowohl im Beratungsgebiet als auch im Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell zu beobachten.

Gegenüber den Steigungsbeträgen der fallenden Nitrattrends von nahe Null (Median) bei den Referenzmessstellen weist das Prämiengebiet einen Median von ca. -1 mg/l pro Jahr auf (max. -1,8 mg/l pro Jahr) und spiegelt die Stichprobe gut wider. Es ist davon auszugehen, dass der Erfolg auf die gebietsspezifischen Maßnahmen (reduzierte kulturspezifische N-Düngung, Winterbegrünung, Mulchsaat etc.) zurückzuführen ist, deren Kontrolle im Extensivierungsgebiet seit 2008 durch die N_{min}-Probenahme im Herbst erfolgt und direkt an die Zahlung hoher Prämien gekoppelt ist. Dieser Erfolg ist allerdings nicht streng flächendeckend ausgeprägt. Nitratentwicklungen in Messstellen mit hohen Konzentrationen und ohne signifikant fallenden Trend führten dazu, dass sich der Nitrat-Gebietsmittelwert von ca. 60 mg/l im Prämiengebiet seit 2003 nur wenig verändert hat.

Demgegenüber ist der Median der Steigungsbeträge im Beratungsgebiet von ca. Null wenig aussagekräftig, was auf die heterogenen Standortverhältnisse zurückzuführen ist. Eine pauschale Quantifizierung des Maßnahmenerfolgs ist nicht möglich. In einzelnen Messstellen erreichen die Verringerungsraten im Beratungsgebiet -3 mg/l pro Jahr.

Den Maßnahmenerfolgen sind durch landwirtschaftliche Rahmenbedingungen Grenzen gesetzt. Das Kooperationsgebiet zeichnet sich durch einen hohen Anteil an Mais- und Kartoffelanbau aus, wobei es sich um ca. 50% der landwirtschaftlichen Flächen sowohl im Prämien- als auch im Beratungsgebiet handelt (s. Kapitel 7.1.4). Trotz der hohen Anteile an sog. „Problemkulturen“ befinden sich die Herbst-N_{min}-Werte im Extensivierungsgebiet bereits auf einem tolerierbaren Niveau von durchschnittlich 33 kg N/ha. Aufgrund der hohen Prämien von bis zu 380 €/ha (Herbst-Nmin 30 bis 55 kg N/ha) werden

selbst bei Problemkulturen entsprechend geringe Herbst-N_{min}-Gehalte von ca. 50 kg N/ha erreicht. Trotz enormer Prämien von 480 €/ha scheint der Anreiz gering zu sein, auf den Anbau von sog. „Problemkulturen“ zu verzichten. Die Herbst-N_{min}-Daten des Beratungsgebietes deuten mit durchschnittlich ca. 50 kg N/ha in dieser Hinsicht nur geringfügig mehr auf ein Verringerungspotential hin.

Die Gegebenheiten mit bereits relativ geringen Herbst-N_{min}-Werten bieten damit wenig Spielraum für weitergehende Maßnahmenoptimierungen zur Verringerung der Nitrateinträge. Das Erreichen des Nitratschwellenwertes der GrwV (2017) im gesamten Kooperationsgebiet erfordert ein langfristiges stetiges Fallen der Nitratwerte, vor allem im Extensivierungsgebiet, das eine höhere Gefährdung gegenüber Nitrateinträgen aufweist als das Beratungsgebiet. Die ermittelten Trends der Vorfeldmessstellen zeigen bisher noch keine signifikanten Auswirkungen auf die Nitratentwicklungen der Rohwässer, die sich 2016 weiterhin auf einem Niveau von 5 bis 65 mg/l Nitrat befanden.

7.2.5 Kaldenkirchen-Grenzwald

Für die hydrochemische Analyse im WSG Kaldenkirchen-Grenzwald stehen Daten von 16 Grundwassermessstellen und zehn Brunnen zur Verfügung. Zusätzlich konnte eine LANUV-Messstelle hinzugezogen werden, um die Anzahl außerhalb liegender GWM als Referenz zu erhöhen.

7.2.5.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beschreibung der Beschaffenheit des obersten Grundwasserstockwerks liegen Vollanalysen und PSM-Analysen vor. Im Zeitraum 2007 – 2015 wurden in den Vorfeldmessstellen unter 34 ausgewählten PSM keine Konzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV (2018) festgestellt. Für den Tiefbrunnen IV (659616) liegen Befunde des Wirkstoffs Atrazin mit einer Maximalkonzentration von 0,1 µg/l im Jahr 2006 vor, was dem oben genannten Grenzwert entspricht. Teilweise wurden dessen Metabolite Desethyl-Atrazin und Desisopropyl-Atrazin im Zeitraum 2006 bis 2017 nachgewiesen jedoch mit Konzentrationen < 0,1 µg/l. Die Daten zeigen damit keine PSM- Problematik im Grundwasser.

Die Vollanalysen liegen überwiegend für die Zeiträume 1988 bis 2017 vor. Für die hydrochemische Analyse wurden jedoch lediglich die Daten ab Beginn der Kooperation in Kaldenkirchen-Grenzwald 1997 herangezogen. Chlorid und Sulfat zeigen im Mittel je 45 mg/l und 126 mg/l mit Maximalwerten bei Einzelbefunden von jeweils 78 und 338 mg/l. Hydrogencarbonat weist mittlere Konzentrationen von etwa 40 mg/l auf (Einzelbefund max. 177 mg/l). Insgesamt liegen hinsichtlich Nitrat flächendeckend hohe Gehalte vor, die häufig 200 mg/l übersteigen. Die maximal gemessene Konzentration im einzelnen Befund betrug 343 mg/l in der GWM 908981 am südlichen Rand des Wasserschutzgebietes im Jahr 2002. Das WSG wurde auf Grundlage der Maßnahmen und der vorliegenden Daten zu Messstellen in die Kategorien Prämiengebiet, partiell im Prämiengebiet, Gebiet ohne Maßnahmen und tief ausgebaute Grundwassermessstellen gegliedert (s. Abbildung 143).

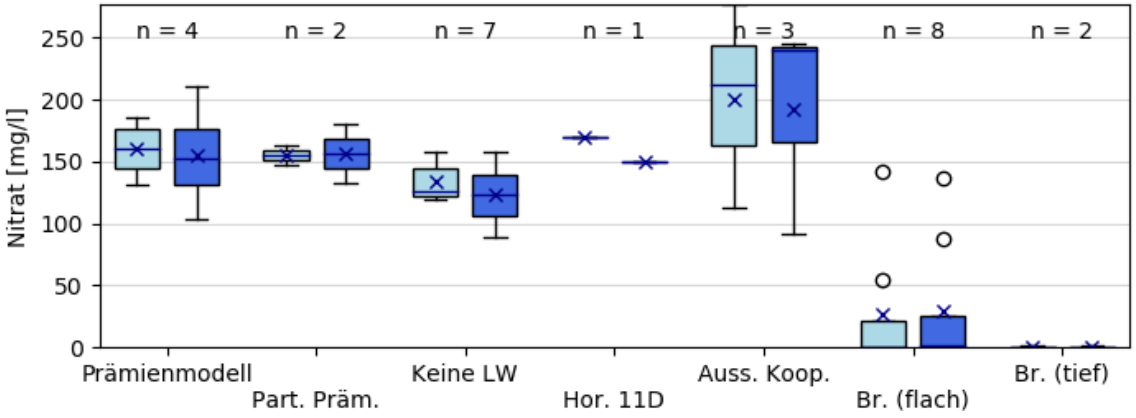


Abbildung 143: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Kaldenkirchen-Grenzwald für den Untersuchungszeitraum (hellblau) und für 2014 – 2016 (dunkelblau)

Die auf die Geländeoberfläche bezogenen Zustromgebiete bestehen bei der Kategorie „Prämienmodell“ aus landwirtschaftlichen Flächen. Die zeitlich gemittelten Nitratwerte liegen bei 130 bis 185 mg/l, mit einem Median von ca. 165 mg/l. Am Rand des Untersuchungsgebietes befindliche Messstellen (GWM 30185 und 908451) zeigen ebenso hohe Nitratkonzentrationen. Die aktuellen Werte (2014 – 2016) zeigen keine signifikanten Unterschiede zu den historisch gemittelten Konzentrationen.

Geringfügig geringere Nitratgehalte von 120 bis 160 mg/l (Median 130 mg/l) weisen die Messstellen auf, die nicht eindeutig landwirtschaftlich geprägt sind (Kategorie „keine LW“). In einem Fall (Messstelle 812971) liegt ein Ausbau im tieferen Horizont 11D im Teufen-Niveau 30 bis 32 m unter Geländeoberkante vor. Diese zeigt mit mittleren Nitratkonzentrationen von 170 mg/l eine akute Nitratbelastung, die sich lokal über tiefere Bereiche des Grundwasserleiters erstreckt.

Außerhalb des Wasserschutzgebietes befinden sich drei Referenzmessstellen, deren Zustromgebiete gemischt geprägt sind, überwiegend jedoch durch Siedlung und Landwirtschaft. Sie weisen weite mittlere Nitratkonzentrationsspannen von 110 bis 270 mg/l auf (Median 210 mg/l). Die LANUV-Messstelle 80201570 liegt ca. 2,5 km östlich des Wasserschutzgebietes und ist aufgrund des Zustroms aus dem Kooperationsgebiet Lobberich nur begrenzt repräsentativ.

Die Brunnen zeigen unterschiedliche Konzentrationsspannen von nitratfreien Verhältnissen bis zu 150 mg/l. Überwiegend herrschen jedoch nitratfreie Verhältnisse (Median 0 mg/l). Die hohen Konzentrationen in den Brunnen 4 (659616) und 2 (659614) sind auf die Abwesenheit des Tegelentons und die Fensterung zwischen den Horizonten 16 und 11 zurückzuführen. Mit größerer Entfernung zum geologischen Fenster sinkt die Nitratkonzentration in den Brunnen (Cremer, 2015). Der sich nur 300 m vom geologischen Fenster befindliche Brunnen 4 zeigt stagnierende Verhältnisse hinsichtlich der Nitratkonzentrationen an, während sie in Brunnen 2 (500 m Entfernung) seit den frühen 90er Jahren stark ansteigen (s. Ganglinien in Anhang 10.3.5). Ein deutlicher Nitratdurchbruch in den vom geologischen Fenster weiter entfernt liegenden Brunnen ist in Zukunft zu erwarten, z. B. in Brunnen 1 (659613).

Die Nitratgehalte in den Brunnen haben sich deutlich auf die jeweiligen Anteile der Fördermengen ausgewirkt (s. Abbildung 11). Der Brunnen 4 besaß demnach belastungsbedingt schon seit den 80er Jahren nur geringe Anteile an der Fördermenge. Auch die Anteile des Brunnens 2 sind seit dem Nitratdurchbruch stetig gesunken.

Laut Cremer (2015) weisen die Beschaffenheitsdaten des oberen Grundwasserstockwerks keine Anzeichen für einen möglichen Nitratabbau auf. Die Nitratgehalte entsprechen daher den Eintragskonzentrationen. In den tieferen Stockwerken kann eine chemo-lithotrophe Denitrifikation vermutet werden, jedoch können dazu keine sicheren Aussagen getroffen werden.

7.2.5.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Die zwei Brunnen, die im tiefen Stockwerk (Horizont 8) verfiltert sind, haben die Kriterien für die Trendberechnung nicht eingehalten, da der Datenzeitraum zu kurz ist. Daher entfallen sie in der nachfolgenden Auswertung.

Die Messstellen zeigen im WSG kein eindeutiges Muster, da sowohl signifikant steigende als auch klar fallende Trends identifiziert wurden (s. Abbildung 144). Im Prämiengebiet liegen die Trends bei -5 bis 4 mg/l pro Jahr, d. h. es bilden lokal sehr unterschiedliche Entwicklungsmuster aus. Der Median von -0,8 mg/l pro Jahr ist bei nur vier Messstellen wenig aussagekräftig. Die Trends sind mit einer Ausnahme statistisch signifikant. Von den zwei nur partiell im Prämienmodell liegenden Grundwassermessstellen besitzt eine GWM steigende Nitratkonzentrationen mit einer Rate von 5 mg/l pro Jahr. Die Messstelle mit tiefem Ausbau besitzt einen signifikant fallenden Trend von ca. -1 mg/l pro Jahr. Ein Zusammenhang zwischen Sickerwasserverweilzeit und der Trendentwicklung (s. Karte in Anhang 10.2.5) deutet sich nicht an. Die Ganglinien (s. Anhang 10.3.5) zeichnen ein positiveres Bild der Situation. Seit Anfang der 2000er Jahre zeichnet sich eine Nitratentwicklung mit fallenden Konzentrationen ab (s. Abbildung A 10.3.5 – 2). In einigen Grundwassermessstellen stagnieren die Nitratgehalte jedoch bzw. steigen in den zwei Messstellen 30185 und 907861 seit dem Ende der 1990er Jahre an (s. Abbildung A 10.3.5 – 1). Diese liegen im südöstlichen Teil des WSG und spiegeln möglicherweise die lokale Eintragssituation wider.

Die Messstellen, deren Zustromgebiet nicht landwirtschaftlich geprägt ist („keine LW“), weisen überwiegend fallende Nitratentwicklungen auf. Der Median beläuft sich auf ca. -1 mg/l pro Jahr mit maximaler Abnahmerate von -4 mg/l pro Jahr. Diese befinden sich im Waldgebiet in der Nähe von Kaldenkirchen und der Brunnenanlagen, auf die sich die verringerten Nitratwerte positiv auswirken sollten. Jedoch lässt sich dieser Bereich nicht unmittelbar durch Maßnahmen beeinflussen. Zudem sind die abnehmenden Trends nur in drei von sieben Fällen signifikant.

Die Referenzmessstellen außerhalb des Wasserschutzgebietes streuen ebenso stark, bilden jedoch eine noch kleinere Stichprobe als die Messstellen des Prämienmodells. Die Steigungen der Nitratkonzentrationen liegen zwischen -8 und 4 mg/l pro Jahr.

In den Brunnen sind nur vereinzelt Entwicklungen erkennbar. Der überwiegende Teil besitzt hinsichtlich des Nitrattrends keine Signifikanz, zwei Brunnen zeigen fallende Trends und in einem Fall steigen die Konzentrationen. Dabei handelt es sich um den Brunnen 2 (659614), dessen Ganglinie andeutet, dass sich der Anteil des Grundwassers aus dem hangenden Grundwasserstockwerk sukzessive erhöht und damit die Nitratkonzentration steigt (s. Abbildung A 10.3.5 – 3).

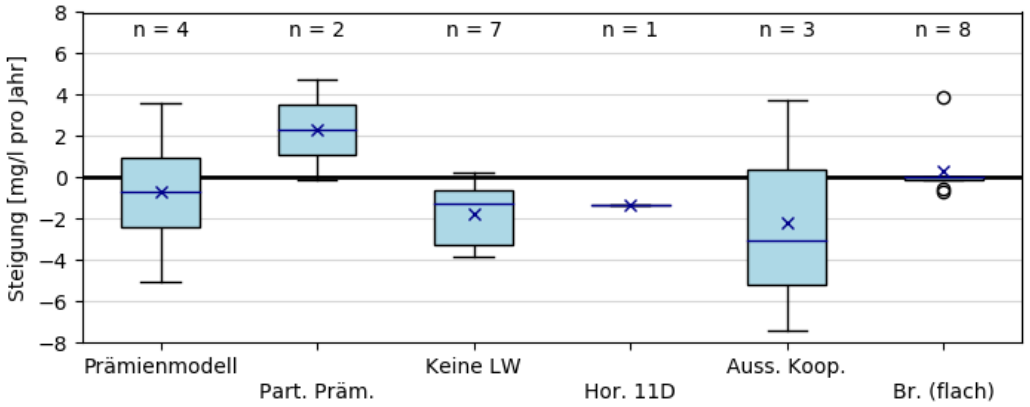


Abbildung 144: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Kaldenkirchen-Grenzwald (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz)

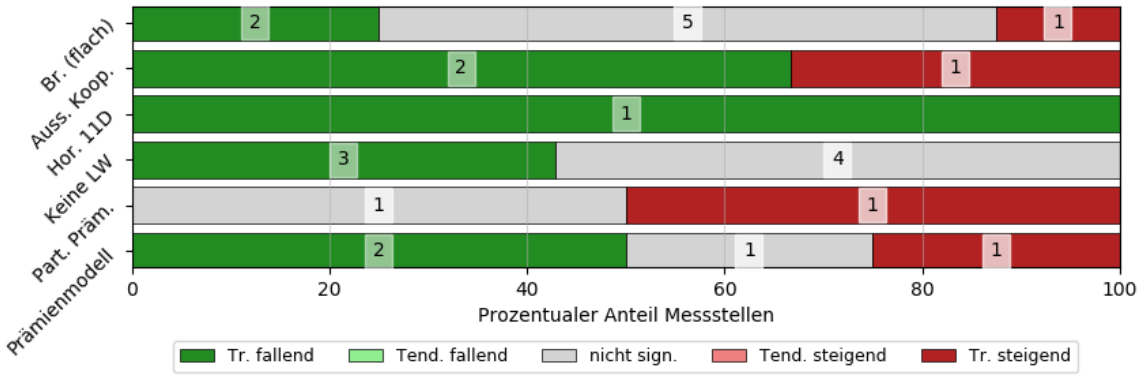


Abbildung 145: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Kaldenkirchen-Grenzwald

In Abbildung 146 sind die Steigungsklassen gegen die Konzentrationsklassen (links) und die charakteristischen Gebiete (rechts) aufgetragen. Zur Konzentrationsklasse <10 mg/l gehören ausschließlich Brunnen. Die Konzentrationsklasse >50 mg/l spiegelt das gesamte Spektrum an Steigungsklassen von <0,5 bis >5 mg/l pro Jahr mit fallenden und steigenden Nitratentwicklungen wider. Dies verdeutlicht die Dynamik des stark mit Nitrat belasteten Gebietes.

Aus den auf die Gebietskategorien bezogenen Verteilungen der Steigungsklassen (Abbildung 146, rechts) ist kein eindeutiges Muster ableitbar. Zwar sind insgesamt überwiegend fallende Nitratentwicklungen erkennbar, jedoch unterliegt das Prämiengebiet einer Dynamik mit fallenden und steigenden Trends, wobei die Größe der Stichprobe bei diesem Urteil beachtet werden muss. Das Wald- und Siedlungsgebiet in der Nähe der Brunnen („keine LW“) weist überwiegend fallende Trends mit teils hohen Abnahmeraten von -2,5 bis -5 mg/l pro Jahr auf. Jedoch besitzen diese nur zum Teil eine statistische Signifikanz.

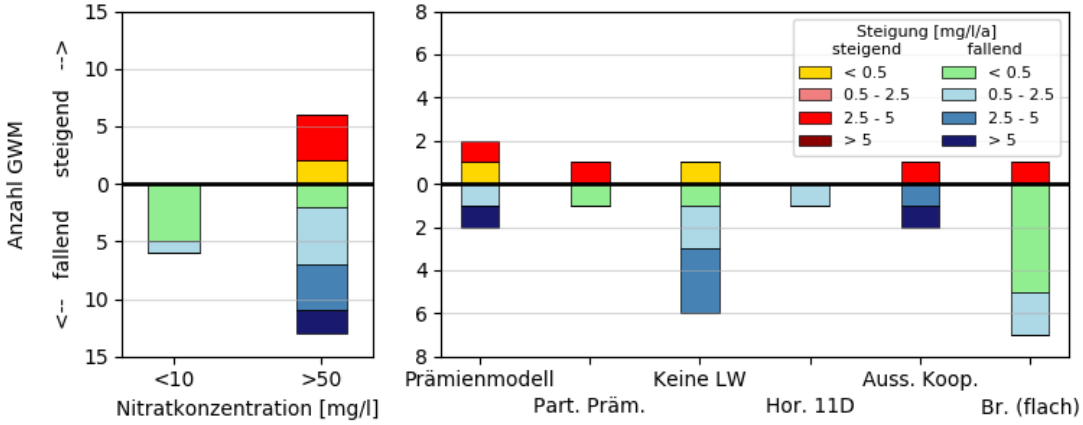


Abbildung 146: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Kaldenkirchen-Grenzwald

7.2.5.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Zur Kooperation Nettetal gehören die Wasserschutzgebiete Kaldenkirchen-Grenzwald, Breyell und Lobberich. Die Kooperationsarbeit begann in Kaldenkirchen-Grenzwald 1997, die Einführung des Prämienmodells erfolgte im Jahr 2008. Angesichts einer mittleren Sickerwasserverweilzeit von ca. acht Jahren, kann die Wirkung des Prämienmodells nicht verlässlich beurteilt werden.

Die Vorfeldmessstellen sind im Kooperationsgebiet mit durchschnittlich 150 mg/l Nitrat belastet, während die Referenzmessstellen eine mittlere Konzentration (Median) von > 200 mg/l aufweisen. Die hohen Belastungen rühren von den hohen Flächenanteilen von ca.45% an sog. Problemkulturen (Mais, Kartoffeln, Gemüse), die mittlere Herbst-N_{min}-Gehalte von je 160, 130 und 90 kg N/ha besitzen. Die hohe Viehbesatzdichte und Wirtschaftsdüngerimporte aus den benachbarten Niederlanden verschärfen diese Problematik (s. Kapitel 7.1.1).

Die Trendanalyse zeigt primär sehr heterogene Nitratentwicklungen mit teilweise steigenden und fallenden Trends. Die langjährigen Kooperationsmaßnahmen zeigen damit nur lokal eine Verringerung der Nitratgehalte seit Anfang der 2000er Jahre. Jedoch sind auch in Referenzmessstellen zum Teil stark rückläufige Nitratkonzentrationen festzustellen, wodurch eine lokale positive Entwicklung im Kooperationsgebiet relativiert wird.

Die Messstellen 30185 (Zustrom partiell im Prämiengebiet) und 907861 (Prämiengebiet) entwickeln sich besonders negativ hinsichtlich ihrer Nitratbelastung. Seit Ende der 1990er Jahre zeigen sie signifikant steigende Trends mit Magnituden von 3 bis 5 mg/l pro Jahr. Die vorgefundenen starken Nitratbelastungen in Verbindung mit den Ergebnissen der Trendanalysen befinden sich nicht im Einklang mit dem vorsorgenden Grundwasserschutz. Eintragsmindernde Maßnahmen hinsichtlich Nitrat können in diesen Fällen in keinerlei Weise festgestellt werden. Mit den vorliegenden Daten kann jedoch keine vollumfängliche Ursachenanalyse erfolgen. Diese GWM bedürfen einer intensiven Überwachung und Überprüfung der lokalen Eintragssituation.

Eine Auswirkung der Nitratbelastung des oberen Grundwasserleiters auf die tiefer ausgebauten Brunnen äußert sich nur vereinzelt, jedoch in teils sehr starkem Ausmaß in Abhängigkeit von der hydraulischen Verbindung zwischen oberstem mit Nitrat belasteten Grundwasserstockwerk und dem tiefer liegenden Förderhorizont. Die bisherigen Entwicklungen reichen daher angesichts der prekären Lage der Nitratbelastung im oberen Grundwasserleiter mit hydraulischer Verbindung zum tiefer liegenden

Förderhorizont 11D auf lange Sicht nicht aus. Auch sind bereits in der tiefer liegenden Hauptkiesserie (Horizont 8), die im WSG Kaldenkirchen von zwei Brunnen erschlossen wird, Anzeichen für einen Einfluss durch Stoffeinträge aus dem obersten Grundwasserstockwerk sichtbar (Cremer, 2015).

Die nachhaltige Verringerung der Nitratgehalte im obersten Grundwasserstockwerk durch die Kooperationsmaßnahmen spielt damit eine zentrale Rolle. Eine aussagekräftige und umfangreiche Beurteilung der Maßnahmen, insbesondere der zukünftigen Auswirkungen des Prämienmodells, ist dafür unabdingbar. Dafür müssen jedoch Voraussetzungen geschaffen werden. Insgesamt konnten nur relativ wenige Grundwassermessstellen in die Beurteilung der Kooperationsmaßnahmen integriert werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, weitere qualifizierte Messstellen mit entsprechend flachem Ausbau im zentralen Bereich des Wasserschutzgebietes zu errichten, z. B. südöstlich von Stevensdorf oder nordöstlich von Bracht. Damit wird eine genauere Erfassung des Kooperationsgebietes ermöglicht, die präzisere Aussagen zur Wirksamkeit von Maßnahmen und spezifische Optimierungen innerhalb der Kooperation erlaubt.

7.2.6 Breyell und Lobberich

Für die WSG Breyell und Lobberich stehen insgesamt Daten von 29 GWM und sieben Brunnen zur Verfügung, darunter vier LANUV-Messstellen als Referenzen. Die Hälfte der Messstellen ist in tieferen Horizonten verfiltert. Da die Brunnen Grundwasser aus tieferen Stockwerken fördern, werden auch die tiefer ausgebauten Grundwassermessstellen bei der Datenauswertung berücksichtigt. Sie werden jedoch getrennt von den oberflächennah verfilterten Messstellen behandelt.

7.2.6.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beschreibung der Beschaffenheit des obersten Grundwasserstockwerks liegen Vollanalysen und PSM-Analysen vor. Von 1993 bis 2017 wurden in den Vorfeldmessstellen unter 34 ausgewählten PSM nur in einem Fall Konzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV (2018) festgestellt. Dabei handelte es sich im Jahr 1994 um einen Simazin-Befund mit einer Konzentration von 0,22 µg/l. In den Brunnen gab es im genannten Zeitraum hinsichtlich der analysierten PSM-Wirkstoffe und deren -Metaboliten keine Grenzwertüberschreitungen.

Die Vollanalysen liegen für die Zeiträume 1988 – 2017 vor. Allerdings fließen nur die Daten ab Beginn der Kooperation im Jahr 1994 in die Auswertung ein. Chlorid weist im obersten Grundwasserstockwerk eine mittlere Konzentration von 53 mg/l auf (maximal 112 mg/l). Sulfat zeigt im Mittel 116 mg/l mit einem Maximalwert von 235 mg/l. Hydrogencarbonat liegt im Mittel bei etwa 84 mg/l mit einem Einzelbefund von maximal 385 mg/l. Hinsichtlich Nitrat liegen im obersten Horizont flächendeckend, wie in den benachbarten Gebieten Kaldenkirchen-Grenzwald und Dülken/Boisheim, hohe Belastungen mit Nitrat, vor allem im oberflächennahen Grundwasserstockwerk, vor. Der Mittelwert liegt bei ca. 114 mg/l im genannten Zeitraum. Die Beschaffenheit des obersten Grundwasserstockwerks (Horizont 16) unterscheidet sich damit nicht von den benachbarten Wasserschutzgebieten. Im unteren Grundwasserstockwerk (Horizont 8), das in wesentlich geringerem Ausmaß anthropogen beeinflusst ist, sind die Konzentrationen von Chlorid und Sulfat im Mittel nur ein Drittel, bei Hydrogencarbonat halb so hoch.

In beiden Wasserschutzgebieten liegen im oberen Grundwasserstockwerk keine Indikatoren für einen möglichen Nitratabbau vor. Im WSG Breyell gibt es im Förderhorizont 11D Hinweise auf eine chemolithotrophe Denitrifikation, jedoch ist der Datenbestand für sichere Aussagen nicht ausreichend. Im WSG Lobberich hingegen findet in diesem Stockwerk nach Cremer (2015) kein Nitratabbau statt. Zum Nitratabbau in tieferen Horizonten können mangels anthropogener Einflüsse keine Aussagen getroffen werden, jedoch ist aufgrund der Nachweise in den benachbarten Wasserschutzgebieten auch in Breyell und Lobberich eine chemo-lithotrophe Denitrifikation zu vermuten (Cremer, 2015).

Angesichts der Datenlage wurde die Gliederung der Grundwassermessstellen sowohl bezogen auf die Lage der Zustromgebiete als auch in Abhängigkeit des Ausbaus vorgenommen (s. Abbildung 146). Das Prämiengebiet wird durch sieben flach verfilterte Messstellen repräsentiert, die mittlere Nitratgehalte von etwa 125 mg/l (Median) aufweisen. Im aktuellen Zeitraum 2014 bis 2016 liegt der Median hingegen mit ca. 110 mg/l geringfügig niedriger. Die Zustromgebiete drei weiterer GWM, die keine

landwirtschaftliche Prägung aufweisen („keine LW“), sind ähnlich stark betroffen mit zeitlich gemittelten Nitratwerten von 80 bis 170 mg/l.

Die Grundwassermessstellen, die die tiefer liegenden Horizonte 11, 8 und 5 erschließen, zeigen eine Tiefenabhängigkeit in Hinblick auf die mittlere Nitratkonzentration. Während der Horizont 11D mit Spannweiten von 60 bis 120 mg/l (Median 80 mg/l) relativ stark durch den darüber liegenden Horizont beeinflusst ist, sind die Horizonte 8 und 5 weitestgehend nitratfrei. Eine Ausnahme bildet die Grundwassermessstelle 30089 mit einer mittleren Konzentration von 100 mg/l. Da in diesen Teufen eine solch hohe Nitratkonzentration nicht erwartet wird, sollte eine geophysikalische Ausbaukontrollmessung stattfinden, um auszuschließen, dass es um einen lokalen hydraulischen Kurzschluss in der Messstelle und der daraus resultierenden Vermischung mit oberflächennahem Grundwasser handelt. Die Ganglinie der GWM 30089 zeigt in Abbildung A 10.3.6 – 2 (s. Anhang 10.3.6) seit den 90er Jahren steigende Tendenzen.

Außerhalb der Wasserschutzgebiete befinden sich vier Referenzmessstellen, die sich. Das Umfeld der Messstellen ist gemischt durch Landwirtschaft und Siedlung geprägt. Die Konzentrationsspannen reichen von 50 bis über 200 mg/l. Die Nitratkonzentrationsverteilung ist damit sehr heterogen ausgeprägt.

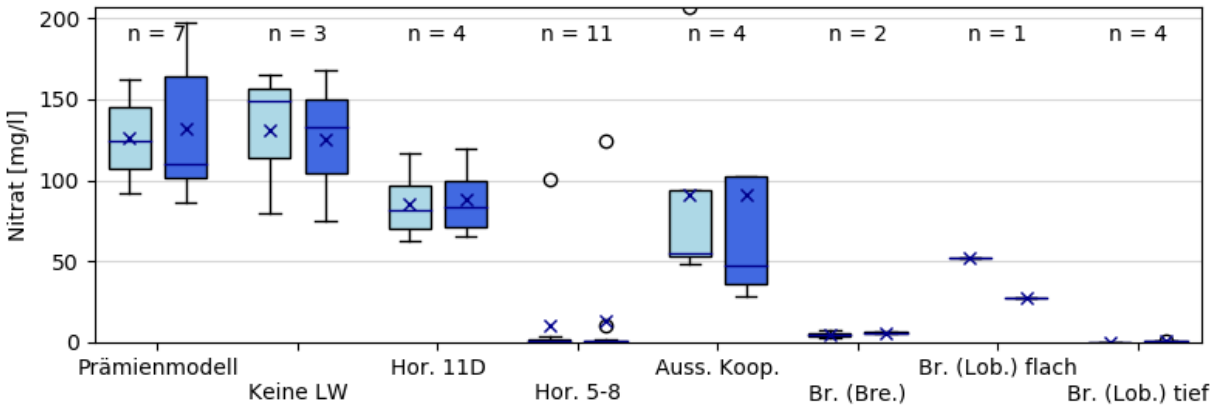


Abbildung 147: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Breyell-Lobberich für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

Die Brunnen wurden nach Standort und wenn erforderlich nach Förderhorizont bzw. Ausbau gegliedert. Sie zeigen dementsprechend unterschiedliche Konzentrationsspannen von nitratfreien Verhältnissen. Die aktiven Förderbrunnen sind praktisch nitratfrei. Lediglich der Brunnen 659441 (Br. II) besitzt erhöhte Konzentrationen von 50 mg/l, jedoch befindet sich dieser außer Betrieb.

7.2.6.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Fünf Grundwassermessstellen hielten die Kriterien für die Trendanalyse nicht ein, daher erfolgt die Bewertung der Nitratentwicklung anhand von 24 Messstellen. Aus Abbildung 148 geht hervor, dass die Mediane meist nahe bei 0 mg/l liegen. Die Messstellen in den WSG (Prämienmodell und Zustromgebiete ohne Maßnahme) zeigen sowohl steigende als auch fallende Konzentrationsentwicklungen. Im Prämiengebiet reichen die Steigungen von ca. -2 bis 2 mg/l pro Jahr (s. Abbildung 148).

Der Median liegt bei 0 mg/l pro Jahr. Dabei besitzen jeweils zwei GWM steigende Tendenzen (Signifikanzniveau 10%), signifikant fallende Trends (Signifikanzniveau 5%) und keine Signifikanz (s. Abbildung 149). Die Ganglinien in Anhang 10.3.6 (s. Abbildung A 10.3.6 – 2) zeigen, dass die steigenden Tendenzen der Messstellen 30087 und 900261 Anfang der 2000er Jahre bzw. 2010 ihren Lauf nahmen. Die fallenden Trends der GWM 659634 und 659644 stellten sich ebenfalls etwa Anfang der 2000 Jahre ein (s. Abbildung A 10.3.6 – 2). Räumliche Zusammenhänge bezüglich der Nitratentwicklung in der Karte in Anhang 10.2.6 lassen sich nur bedingt konstatieren. Die zuvor identifizierten Messstellen im Prämiengebiet mit fallenden Trends befinden sich in der Nähe der Brunnen des WW Lobberich, während Messstellen mit steigenden Tendenzen im ferneren Anstrom liegen. Das unterschiedliche

zeitliche Verhalten ist womöglich auf eine räumlich und zeitlich heterogene Eintragssituation zurückzuführen.

Im Jahr 2009 wurde das Prämienmodell eingeführt. Zu erwarten wären potentielle Auswirkungen in Form von verminderten Nitrateinträgen in das Grundwasser etwa in den Jahren 2013 und 2014 unter Berücksichtigung einer Anlaufzeit der Maßnahme von ca. ein bis zwei Jahren und der Sickerwasserverweilzeit von ca. drei Jahren. Im Rahmen der Ganglinienanalyse (s. Abbildungen A 10.3.6 – 1 bis 3) konnten jedoch keine signifikanten Entwicklungen identifiziert werden, die auf eine Verminderung von Nitrateinträgen schließen lassen.

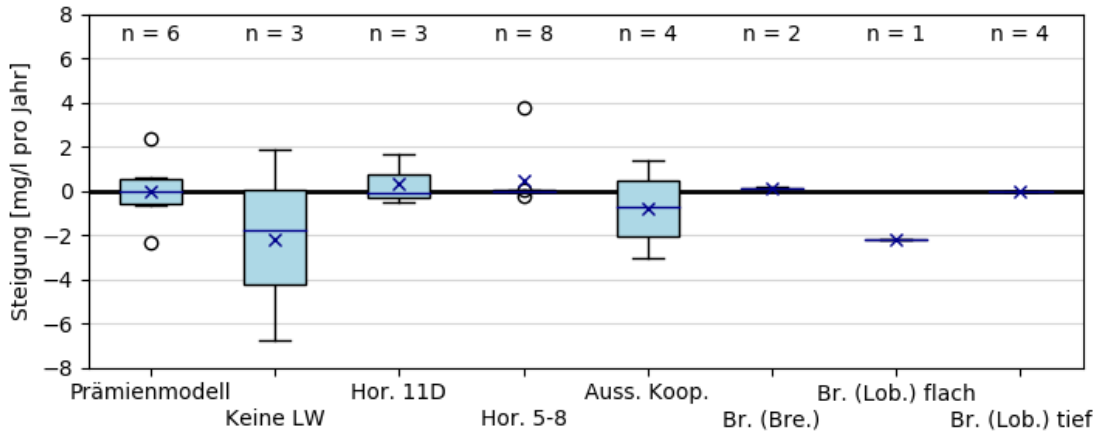


Abbildung 148: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Breyell-Lobberich

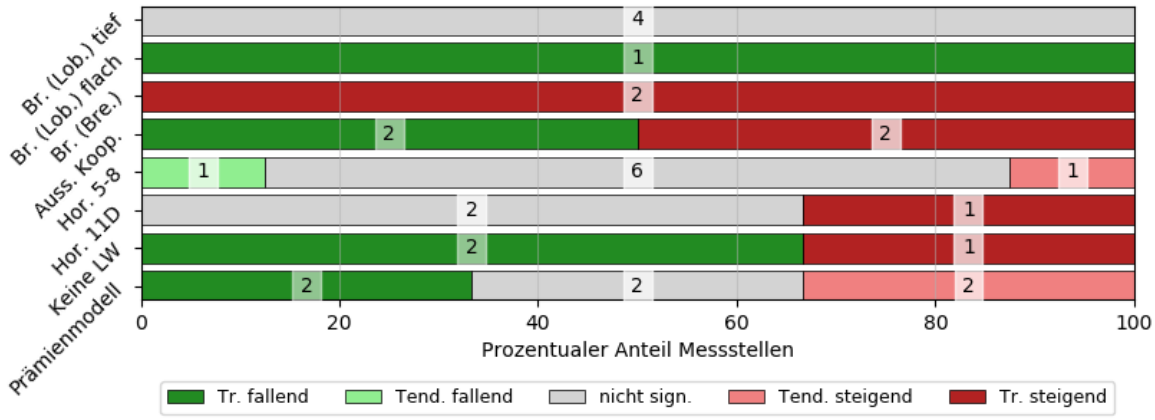


Abbildung 149: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Breyell-Lobberich

Messstellen, deren Zustromgebiete keine landwirtschaftliche Prägung aufweisen, besitzen Steigungen zwischen -7 und 2 mg/l pro Jahr. Diese Trends sind signifikant (s. Abbildung 149, „keine LW“) und setzten ebenfalls Anfang der 2000er Jahre ein, was aus den Ganglinien der betroffenen Messstellen 908291, 659355 und 900161 (s. Abbildung A 10.3.6 – 1) hervorgeht. Die Messstellen, die von Siedlungen geprägt sind besitzen fallende Trends, während die Messstelle 659355 mit Prägung durch das angrenzende Waldgebiet steigende Trends aufweist (s. Karte in Anhang 10.2.6).

Die Messstellen mit tiefem Ausbau in den Horizonten 11D bzw. 8 oder 5 zeigen überwiegend Nitratentwicklungen ohne statistische Signifikanz an (s. Abbildung 149). Eine Messstelle im Horizont 11D (908292) besitzt jedoch einen signifikant steigenden Trend bereits seit Anfang der 1990er Jahre. Damit wird der lokal zunehmende Einfluss des oberflächennahen Grundwassers in tieferen Grundwas-

serstockwerken deutlich. In den Horizonten 8 und 5 sind keine Entwicklungen erkennbar. Eine Ausnahme bildet die bereits durch hohe Nitratgehalte aufgefallene Messstelle 30089, bei der ein Defekt ausgeschlossen werden muss.

Die Referenzmessstellen zeigen mit fallenden und steigenden Trends in jeweils zwei Fällen ebenfalls kein Muster. Die fallenden Steigungsbeträge überwiegen jedoch, sodass der Median bei etwa -1 mg/l pro Jahr liegt (s. Abbildung 148).

In den Brunnen sind abhängig vom Förderhorizont teilweise Entwicklungen erkennbar. Die Förderbrunnen des WW Breyell, die Grundwasser aus dem Horizont 11D heben, deuten signifikant steigende Trends an, jedoch liegen die Steigungsbeträge jeweils 0,1 und 0,15 mg/l pro Jahr an. Im Jahr 2017 lagen die Konzentrationen unter 10 mg/l, was aus den Ganglinien im Anhang (s. Abbildung A 10.3.6 – 4) hervorgeht. Das WW Lobberich, das aus dem Horizont 8 fördert, besitzt weiterhin ein nitratfreies Rohwasser. Der sich außer Betrieb befindliche Brunnnen 659441 (Br. II) zeigt einen fallenden Trend im Horizont 11D in Lobberich an. Zuletzt lagen die Nitratkonzentrationen bei 60 mg/l.

Die zusammenfassende Konzentrationsverteilung und -entwicklung bezüglich der Nitratkonzentration ist in Abbildung 150 dargestellt. Die Konzentrationsklasse von <10 mg/l Nitrat spiegelt ausschließlich die tiefen Horizonte wider, die unabhängig von der statistischen Signifikanz überwiegend keine oder fallende Steigungen aufweisen. Die Steigungsklasse >50 mg/l, die weitestgehend das oberste Grundwasserstockwerk repräsentiert, zeigt hingegen sowohl fallende als auch steigende Nitratentwicklungen mit zumeist moderaten Steigungsbeträgen von 0,5 bis 2,5 mg/l pro Jahr.

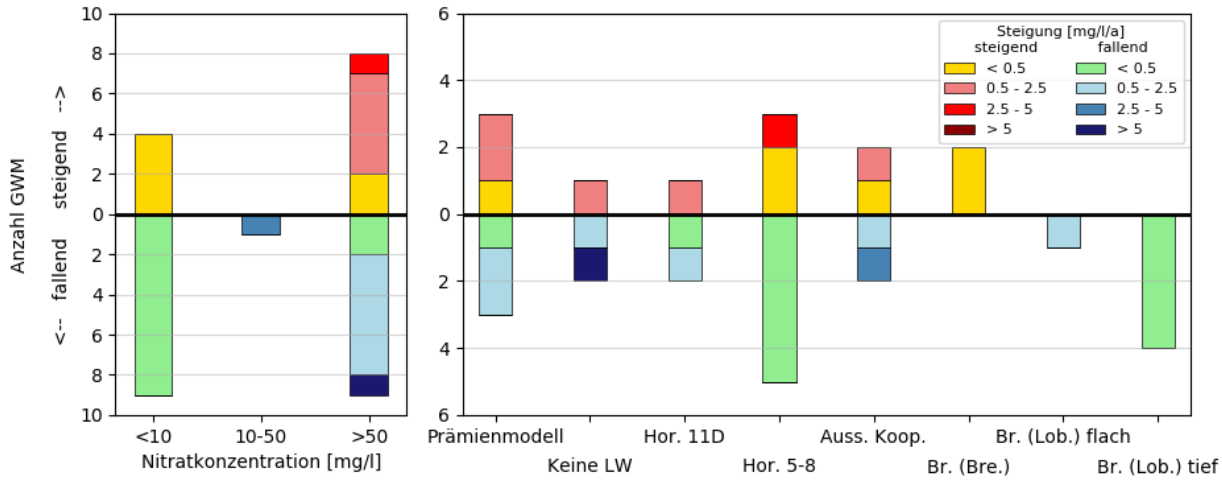


Abbildung 150: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Breyell-Lobberich

Diese ausgewogene Verteilung der Steigungsklassen ist in der gebietsbezogenen Darstellung wiederzuerkennen (s. Abbildung 150, rechts). Insgesamt deutet sich damit keine flächendeckende Entwicklung hinsichtlich der Nitratkonzentrationen an. Eine Wirkung nitratmindernder Maßnahmen ist damit nicht deutlich erkennbar. Trotz kleiner Stichprobengrößen von jeweils n=6 und n=4 beim Prämiengebiet und den Referenzmessstellen deutet sich an, dass kein klarer Unterschied zwischen sich im WSG und außerhalb befindlichen Messstellen besteht.

7.2.6.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Zur Kooperation Nettetal gehören die Wasserschutzgebiete Breyell, Lobberich sowie Kaldenkirchen-Grenzwald. Die direkt benachbarten Gebiete Breyell und Lobberich wurden aufgrund der Datenlage gemeinsam ausgewertet.

Die Vorfeldmessstellen sind im Mittel (Median) mit 125 mg/l Nitrat belastet. Die hohen Belastungen sind – wie in Kapitel 7.1.1 ausführlich beschrieben – auf die Problemkulturen (Flächenanteil 45%) und Importe von Wirtschaftsdüngern im Gebiet Nettetal zurückzuführen. Die aus dem zweiten Grundwasserstockwerk (Horizont 11D) fördernden Brunnen sind von der Belastung bisher nur in geringem Maß betroffen. Die Konzentrationen bewegen sich bei <10 mg/l mit nur sehr leicht steigenden Trends. Ein

lokaler Nitratabbau mit chemo-lithotrophem Mechanismus wird vermutet, kann jedoch nicht nachgewiesen werden (Cremer, 2015). Aufgrund der vorgefundenen höheren Konzentrationen im Horizont 11D von etwa 80 mg/l im Gebiet von Lobberich fördern die Brunnen aus dem nitratfreien tiefer liegenden Horizont 8.

Die Trendanalyse zeigt Heterogenitäten in Hinblick auf die Nitratentwicklung mit resultierenden steigenden und fallenden Trends in den beiden Wasserschutzgebieten. Eine einheitliche räumliche Entwicklung ist damit nicht zu erkennen. Die Entwicklung hebt sich darüber hinaus nicht von den Referenzmessstellen außerhalb der Wasserschutzgebiete ab. Insgesamt deutet sich damit keine flächendeckende Entwicklung hinsichtlich der Verringerung der Nitratgehalte an. Eine Wirkung nitratmindernder Maßnahmen durch die Kooperation ist damit, wie bereits im WSG Kaldenkirchen-Grenzwald festgestellt, nicht deutlich erkennbar. Auch eine Wirkung des eingeführten Prämienmodells zeigt sich trotz geringer Sickerwasserverweilzeiten bislang nicht. Es wird festgestellt, dass die bisherigen lokalen Entwicklungen der Nitratminderung angesichts des Belastungsniveaus des obersten Grundwasserstockwerks im Sinne des Grundwasserschutzes nicht ausreichend sind.

Bei der Bewertung der Nitratbelastung und -trends im obersten Grundwasserstockwerk ist die Geschütztheit der tiefer liegenden Grundwasserhorizonte zu berücksichtigen. Im benachbarten WSG Kaldenkirchen-Grenzwald sind im Horizont 8 Anzeichen für einen Einfluss durch Stoffeinträge aus dem obersten Stockwerk erkennbar (Cremer, 2015). In der Grundwassermessstelle 30089, die im Horizont 8 ausgebaut ist, wurde ein stark anomales Verhalten identifiziert, das sich durch einen enormen Anstieg von ca. 25 mg/l auf ein mittlerweile enormes Konzentrationsniveau von 150 mg/l auszeichnet. Derart hohe Konzentrationen wurden in diesem tief liegenden Horizont mit vorhandenem Nitratabbau nicht erwartet. Die Integrität der Messstelle sollte unbedingt sichergestellt werden, um die Geschütztheit der tiefer liegenden Horizonte gewährleisten zu können.

In den Wasserschutzgebieten Breyell und Lobberich ist die Messstellendichte zur Bewertung der Kooperationsmaßnahmen relativ gering. Vor allem im Gebiet von Breyell eignet sich lediglich eine Grundwassermessstelle hinsichtlich des Ausbaus und des Zustromgebietes für die Bewertung. Daher wird abschließend empfohlen die Messstellendichte in den Wasserschutzgebieten zu erhöhen. Die Zustromgebiete müssen dabei streng behandelt werden und eine eindeutig landwirtschaftliche Prägung aufweisen. Mit einer höheren Messstellendichte kann die unmittelbar bevorstehende Auswirkung der Einführung des Prämienmodells auf die Nitratentwicklung in den Wasserschutzgebieten Breyell und Lobberich umfassender und präziser bewertet werden.

7.2.7 Lüttelbracht

Ein hydrogeologisch charakteristisches Merkmal im WSG Lüttelbracht ist die Grundwasserscheide, die in Richtung Nordwest-Südost bzw. Ost-West streicht. Sie muss als Randbedingung für die Ausweisung der Zustromgebiete berücksichtigt werden. Die Grundwasserfließrichtungen sind durch den Verlauf der Grundwasserscheide entsprechend heterogen geprägt. Sickerwasserverweilzeiten reichen von weniger als 5 Jahren bis über 10 Jahre, weshalb die Größen der Zustromgebiete variieren. Auch tiefer ausgebaute Grundwassermessstellen wurden in die Auswertung miteinbezogen, da sie relevante Förderhorizonte der Brunnen erschließen.

7.2.7.1 Grundwasserbeschaffenheit

Die Belastungssituation und Trendanalyse wurden für das WSG Lüttelbracht anhand von 19 Grundwassermessstellen untersucht. Diese sind in unterschiedlichen Grundwasserstockwerken verfiltert. Neun Messstellen erschließen das oberste Stockwerk, während zehn weitere die tieferen Horizonte 11D, 8, 6D und 5 erschließen. Als Referenzmessstellen stehen zwei GWM des Wasserversorgers und eine LANUV-Messstelle zur Verfügung. Die Wassergewinnungsanlage Lüttelbracht verfügt über vier Brunnen. Zu den drei sich im westlichen Teil befindlichen Brunnen liegen Daten vor, zum einzelnen Brunnen 1,5 km östlich hingegen nicht.

Hinsichtlich PSM wurden Wirkstoffe und Metaboliten im Zeitraum 1986 bis 2017 mit variierendem Parameterspektrum mit maximal 34 Wirkstoffen für den gesamten Zeitraum untersucht. Dazu liegen insgesamt 1498 Messwerte für die Vorfeldmessstellen vor, von denen in acht Fällen (0,5%) Konzentrationen von > 0,1 µg/l (Grenzwert der TrinkwV, 2018) festgestellt wurden. Es handelte sich u. a. um

Einzelfälle von Grenzwertüberschreitungen der Wirkstoffe Bentazon (0,2 µg/l), Metalaxyl (0,81 µg/l) und Metolachlor (0,44 µg/l). Metribuzin wurde im brunnennahen Bereich von 1998 bis 2015 vierfach mit Grenzwertüberschreitung und einer maximalen Konzentration von 0,88 µg/l nachgewiesen. Die Funde mit Grenzwertüberschreitungen wurden meist nördlich oder südlich der drei Förderbrunnen im westlichen Teil gemessen. Bei allen 507 Messwerten der Brunnen wurden keine Befunde über der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Vollanalysen liegen ebenfalls für den o. g. Zeitraum vor. Die Werte der für die Nitratverteilung relevanten Leitparameter liegen bei durchschnittlich 43 mg/l für Chlorid, 100 mg/l für Sulfat und 52 mg/l für Hydrogencarbonat. Die tiefen Horizonte weisen tendenziell geringere Mineralisationen auf als der oberste Grundwasserleiter, was den anthropogenen Einfluss auf das Grundwasser widerspiegelt.

Ein stattfindender Nitratabbau kann lediglich für das tiefere Stockwerk (Horizont 8, Hauptkiesserie) beobachtet werden. Der Abbaumechanismus ist durch die Auswertung der Leitparameter Chlorid, Sulfat, Nitrat und Hydrogencarbonat und pH für Brunnen 3 belegt und chemo-lithotropher Natur. Die Brunnen 1 und 2 sind stärker mit Nitrat belastet und zeigen keine deutlichen Anzeichen für einen Nitratabbau auf. Ein flächenhafter Abbau von Nitrat kann für den Förderhorizont 8 also nur vermutet werden. Die oberen Horizonte 11D bis 16 weisen keine Anzeichen auf einen stattfindenden Nitratabbau auf (Cremer 2015).

In Abbildung 151 ist die statistische Verteilung der zeitlich gemittelten Nitratwerte vom Beginn der Kooperation im Jahr 1995 bis 2017 aufgeführt. Die räumliche Unterteilung erfolgt einerseits bezogen auf das Kooperationsgebiet (Prämienmodell und außerhalb) sowie horizontbezogen. Es ist zu beachten, dass die Stichproben der Grundwassermessstellen relativ klein sind. Es lässt sich feststellen, dass der oberflächennahe Grundwasserleiter relativ stark belastet ist, was durch die drei Messstellen, die dem Prämiengebiet zugeordnet werden, mit Konzentrationen von 140 bis 152 mg/l belegt wird. Im aktuellen Zeitraum 2014 bis 2016 lagen die Konzentrationen auf einem geringeren Niveau von 110 bis 148 mg/l. Partiell im Prämienmodell liegende GWM weisen eine Schwankungsbreite von ca. 30 bis 175 mg/l auf. Diese Messstellengruppe wird u. a. von den lageidentischen GWM 30066 und 900411 repräsentiert.

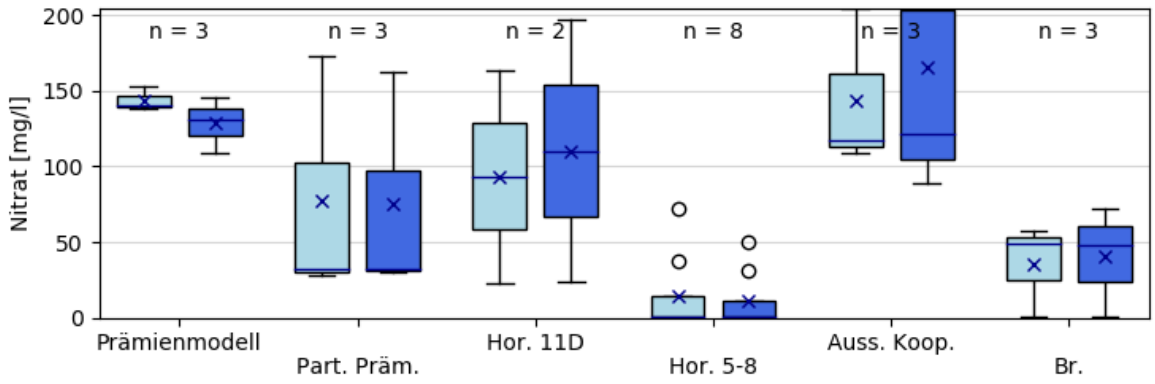


Abbildung 151: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Lüttelbracht für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

Die Referenzmessstellen außerhalb des Kooperationsgebietes liegen jeweils im südöstlichen (900431), nördlichen (909081) und südwestlichen Teil (80301095) des Gebietes. Im Hinblick auf die Landnutzung im unmittelbaren Zustrom sind die Messstellen durch Landwirtschaft und Wald geprägt. Die Nitratgehalte zwischen 100 und 200 mg/l zeigen jedoch deutlich die Dominanz des landwirtschaftlichen Einflusses an.

Der tiefer liegende Horizont 11D ist teilweise nur in geringem Maß (Schluff, Feinsand) von den darüber liegenden Horizonten getrennt (z. B. Messstelle 909082 im Norden des Gebietes). Dort liegt die zeitlich gemittelte Konzentration auf einem Belastungsniveau von ca. 170 mg/l. Bei der südlich gelegenen Messstelle 900401 bildet der Horizont 11D den oberen Grundwasserleiter mit einer 6 m mächtigen Tonüberdeckung. Hier liegt der Nitratgehalt bei 20 mg/l. Die Unterschiede weisen darauf hin, dass

lokale hydraulische Verbindungen zwischen den Horizonten bestehen können und potentielle Nitrateinträge in tiefere Horizonte möglich sind.

Die Horizonte 5 bis 8 werden durch acht Messstellen aufgeschlossen. Mit zwei Ausnahmen liegen die Konzentrationen unter 20 mg/l. Die zwei Ausnahmen besitzen gemittelte Konzentrationen von je 38 mg/l (908561) und 72 mg/l (659318). Möglicherweise besitzen sie aufgrund geologischer Fenster einen Zustrom von nitrathaltigen Wässern aus den darüber liegenden Grundwasserstockwerken oder die Integrität der Messstellen ist beeinträchtigt, sodass eine Mischung von Wässern durch die Messstelle selbst erzeugt wird. Mit den vorliegenden Daten kann dies nicht abschließend geklärt werden. Sie liegen 200 bis 400 m von der Grundwasserscheide entfernt auf unterschiedlichen Seiten und unterliegen womöglich auch diesbezüglich einer hydraulischen Dynamik.

Die Brunnen besitzen sehr unterschiedliche Nitratkonzentrationen, die von nitratfreien Verhältnissen im Brunnen 3 bis 55 mg/l in Brunnen 1 reichen. Es bildet sich ein Konzentrationsgradient von Süden nach Norden aus (s. Karte in Anhang 10.2.7). Auffällig ist die Lage des Brunnen 1 relativ zur Grundwasserscheide, da er sich direkt darauf befindet. Möglicherweise besteht hier ein Zusammenhang mit den erhöhten Nitratkonzentrationen im Brunnen.

7.2.7.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Alle Grundwassermessstellen und Brunnen hielten die Kriterien zur Trendanalyse ein. In Abbildung 152 und Abbildung 153 sind die Verteilungen der Steigungen und deren Signifikanz dargestellt. Es zeigt sich, dass Grundwassermessstellen nahe der Kooperationsflächen (Prämiengebiet und partiell darin befindliches Zustromgebiet) stagnierende bis eher fallende Nitratentwicklungen bis maximal -5 mg/l pro Jahr für den Untersuchungszeitraum aufweisen. Diese sind in drei Fällen signifikant. In den partiell im Prämiengebiet liegenden GWM ist ein fallender und ein steigender Trend zu verzeichnen, währen das Prämiengebiet eine Messstelle mit fallender Tendenz (Signifikanzniveau 10%) besitzt. Unabhängig von der Lage relativ zur Grundwasserscheide sind keine Unterschiede hinsichtlich Nitratkonzentrationen oder Trend feststellbar (s. Anhang 10.2.7). Die Ganglinien in den Abbildungen A 10.3.7 – 2 und 3 (Anhang 10.3.7) zeigen in einem Fall (659667) nördlich der Brunnen seit 2009 stagnierende Verhältnisse auf einem Niveau von ca. 140 mg/l. In den zwei übrigen Fällen (659661 und 659664) sind Trendumkehren von einem steigenden zu einem fallenden Verlauf in den Jahren 2009 bzw. 2011 festzustellen, die charakteristisch für diese Messstellen sind. Die Anstiege von rund 100 mg/l auf bis zu 180 mg/l in vier Jahren. Im Jahr 2017 befanden sich die Nitratwerte dieser Messstellen weiterhin bei >100 mg/l.

Die Referenzmessstellen zeigen sowohl fallende als auch steigende Nitratentwicklungen mit einem Steigungsspektrum von -1 bis 5 mg/l pro Jahr. Die Entwicklungen sind in zwei Fällen signifikant. Im Südwesten (Wald- und Siedlungsgebiet) sind die Entwicklungen fallend und im südöstlichen Gebiet steigend.

Horizont 11D weist in beiden Fällen signifikant steigende Trends mit Beträgen von 0,4 und 5,5 mg/l pro Jahr auf. Die Ganglinie in den Abbildungen A 10.3.7 – 2 und 3 zeigen im ersten Fall einen schwankenden Verlauf mit leicht steigendem Charakter zwischen 1995 und 2008 sowie einem steilen Anstieg von 140 auf 190 mg/l zwischen 2005 und 2010 im zweiten Fall. Die unterschiedlichen Verläufe deuten darauf hin, dass die Anstiege womöglich lokale Ursachen haben.

Die identifizierten Grundwassermessstellen mit erhöhten Konzentrationen in den tiefen Horizonten 5 bis 8 weisen beide signifikant fallende Nitratgehalte auf mit Abnahmeraten von maximal ca. -4 mg/l pro Jahr. Die restlichen sechs Grundwassermessstellen mit geringen Gehalten besitzen keine Signifikanz im Nitratverlauf.

Die zwei mit Nitrat belasteten Brunnen weisen in zwei Fällen Steigungen bis 2 mg/l pro Jahr auf. Diese Entwicklung ist signifikant, wie sich auch in der Abbildung A 10.3.7 – 3 erkennen lässt. Seit den 90er Jahren steigen die Nitratgehalte in Brunnen 1 und befinden sich mittlerweile bei 75 mg/l. Bei Brunnen 2 verläuft der Anstieg lediglich bis 2007. Im Zeitraum von 2007 bis 2014 stagnierten die Gehalte auf einem Niveau von etwa 55 bis 60 mg/l. Seitdem sind die Konzentrationen rückläufig und befanden sich im Jahr 2017 bei 45 mg/l. Die völlig unterschiedliche Entwicklung in den Brunnen spiegelt erneut die Heterogenität der hydrogeologischen Verhältnisse hinsichtlich des Nitratabbaus in der Hauptkies-

Serie (Horizont 8) oder möglichen unterschiedlichen Zustromverhältnissen in Verbindung mit geologischen Fenstern wider.

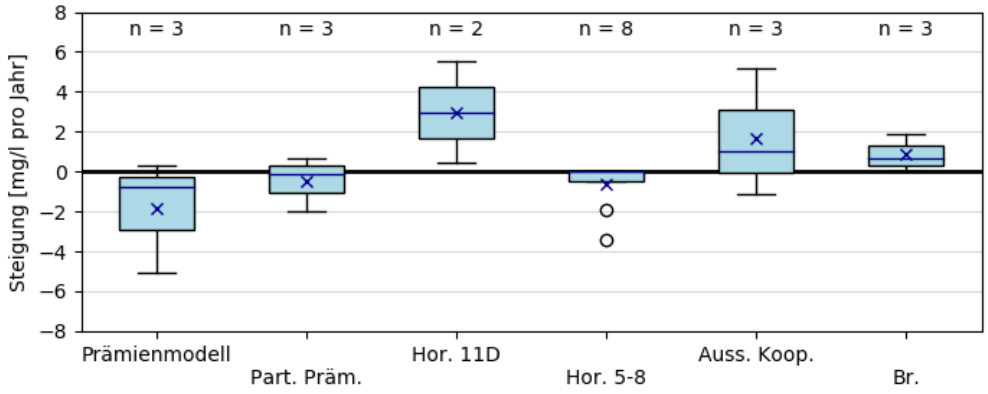


Abbildung 152: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung in Lüttelbracht

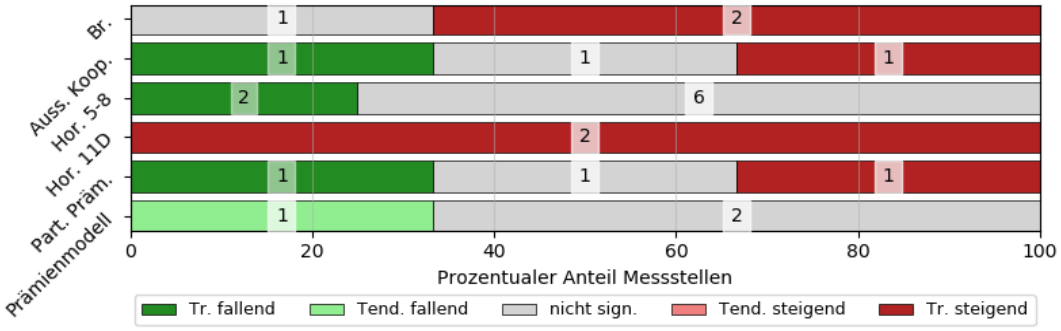


Abbildung 153: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends in Lüttelbracht

In Abbildung 154 sind die Nitratentwicklungen den Konzentrationsklassen einerseits (links) und maßnahmen- sowie tiefenbezogen (rechts) gegenübergestellt. Aus Abbildung 153 ging bereits hervor, dass die Signifikanz in den tieferen Horizonten 5 bis 8 sowie im obersten Horizont des Prämiengebietes gering ausgeprägt ist. Die Ergebnisse der tiefen Horizonte finden sich in der Konzentrationsklasse <10 mg/l wieder. Die höheren Klassen sind im Hinblick auf die Anzahl steigender und fallender Entwicklungen sowie hinsichtlich der Magnitudenverteilung der Steigungen relativ ausgewogen. Die meisten Messstellen (insgesamt zehn) besitzen ein hohes Konzentrationsniveau von >50 mg/l Nitrat, wobei die lokale Dynamik sehr unterschiedlich ist. Dies drückt sich durch die heterogenen Abnahme- bzw. Zunahmeraten von teilweise >5 mg/l pro Jahr aus.

Bezogen auf die Charakteristika der Zustromgebiete (s. Abbildung 154 rechts) verteilen sich die Messstellen mit steigenden Nitratentwicklungen (Steigungsbetrag >0,5 mg/l pro Jahr) auf die außerhalb des Kooperationsgebietes liegenden GWM, Rohwasserbrunnen sowie auf den Horizont 11D und partiell im Prämienmodell liegende GWM. Die Messstellen mit fallenden Nitratentwicklungen (ausgenommen tiefe Horizonte 5 bis 8) und Abnahmeraten >0,5 mg/l pro Jahr verteilen sich hingegen auf das Prämienmodell, partiell im Prämienmodell liegende GWM und auf eine Referenzmessstelle. Von einer statistischen Signifikanz bei der Verteilung kann jedoch nicht gesprochen werden.

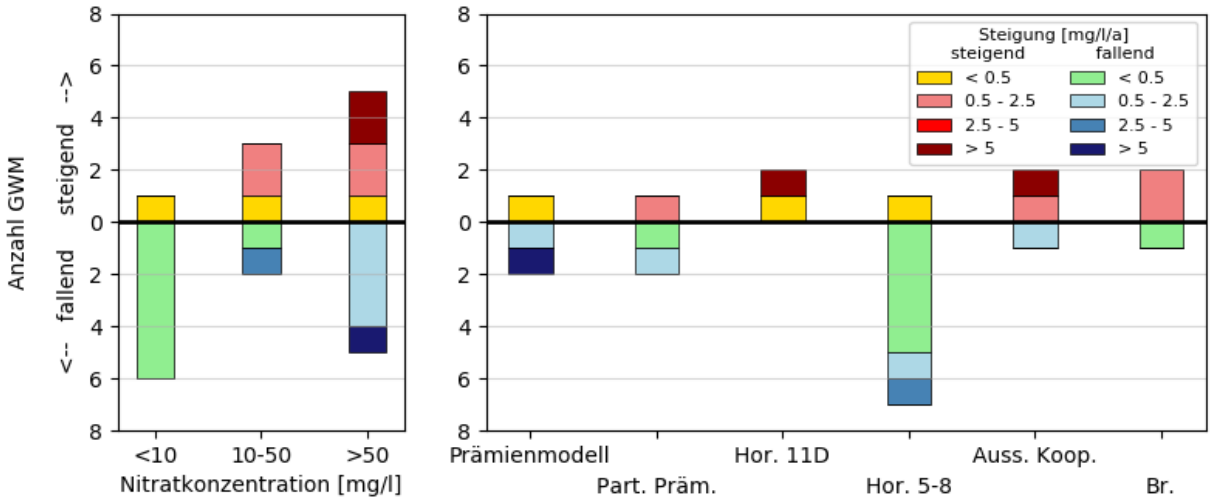


Abbildung 154: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) in Lüttelbracht

7.2.7.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Kooperation Lüttelbracht wird hinsichtlich der Auswirkungen auf das Grundwasser im Zeitraum 1995 bis 2017 untersucht. Der Schwerpunkt liegt in der langjährigen Maßnahmenförderung, die im später durch ein Prämienmodell ergänzt wurde. Die kleine Stichprobe der Messstellen, die im oberflächennahen Grundwasserleiter verfiltert sind, erlaubt nur eine ansatzweise Bewertung der Kooperation.

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurde eine hohe Nitratbelastung der oberflächennahen Grundwasserhorizonte von >100 mg/l festgestellt. Im Kooperationsgebiet (ehemals Umsetzung von Fördermaßnahmen, aktuell Prämiengebiet) herrschen Konzentrationen von ca. 150 mg/l, die aus Sicht des vorsorgenden Grundwasserschutzes nicht tolerierbar sind. In den drei Messstellen (659667, 659661 und 659664), die dieses Gebiet repräsentieren, ist keine langfristige Verbesserung dieses Zustands im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2017 zu erkennen. Dies wird durch langfristig steigende Nitratgehalte in den Förderbrunnen bestätigt. Der Grund für die hohe Belastung liegt vor allem in den hohen Flächenanteilen und spezifischen Herbst-N_{min}-Gehalten der sog. Problemkulturen Gemüse, Kartoffeln und Mais, die für hohe Nitrateinträge in das Grundwasser sorgen (s. Kapitel 7.1.6). Der hohe Druck, der durch die lokalen und importierten Wirtschaftsdüngermengen entsteht, schlägt sich ebenfalls auf die hohen Nitratkonzentrationen nieder. Die Herbst-N_{min}-Gehalte bewegen sich zwischen ca. 80 und 100 kg N/ha (s. Kapitel 7.1.6) und sind für eine flächendeckende Senkung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser auf einem hinreichend geringen Niveau von ca. 50 mg/l nicht ausreichend.

Durch die Betrachtung von Teilzeiträumen in der Ganglinienanalyse wurde festgestellt, dass in den zwei Messstellen 659661 und 659664 (Prämiengebiet) in den Jahren 2009 bzw. 2011 fallende Nitratkonzentrationen einsetzten. Es fanden Trendumkehren von steigenden zu fallenden Trends statt, die dazu führten, dass die Nitratkonzentrationen sich aktuell auf einem Niveau von ca. 110 mg/l liegen. Da in diesen Messstellen historisch jedoch auch Anstiege im ähnlichen Maß beobachten wurden, können keine sicheren Aussagen getroffen werden, ob die zeitlich begrenzten fallenden Trends von langer Dauer sind. Die langfristige Wirkung der Kooperationsmaßnahmen ist damit noch nicht nachgewiesen. Angesichts der andauernden Belastungssituation und den überwiegend auf hohem Niveau stagnierenden Nitratwerte sowie dem nicht vorhandenen Nitratabbau in den obersten Horizonten muss angestrebt werden, die Kontinuität dieses Verlaufs und die Vermeidung eines erneuten Anstiegs im Rahmen der Kooperationsmaßnahmen sicherzustellen. Die Einführung eines Prämienmodells zur möglichen Stabilisierung der Konzentrationsverläufe ohne erneute Anstiege und zur Steigerung der Effektivität der Kooperation wird daher als sinnvoll erachtet.

Die Maßnahmenwirkung im Prämiengebiet sollte langfristig beobachtet werden. Die geringe Aussagekraft zur Effektivität der Kooperation, vor allem in Hinblick auf das eingeführte Prämienmodell, wird

jedoch auch in Zukunft bestehen bleiben. Dies stellt ein großes Defizit dar, da die positive Wirkung des Prämienmodells nur unzureichend dargestellt werden kann. Daher wird eine Verdichtung des Messnetzes mit oberflächennah verfilterten Grundwassermessstellen vorgeschlagen, deren Zustrom möglichst eindeutig aus dem Prämiengebiet gespeist wird. Dies erlaubt langfristig umfassendere Analysen bezüglich des Kooperationsverlaufes und der Beurteilung der Effektivität der Maßnahmen. So können gegebenenfalls zielgerichtete Anpassungen im Rahmen der Kooperation erfolgen.

Aus der Grundwasserhydraulik geht hervor, dass eine sich durch das Kooperationsgebiet durchziehende Grundwasserscheide das Fließgeschehen im Grundwasser und damit den Stofftransport bestimmt. Den lokalen Stickstoffüberschüssen entlang der Grundwasserscheide sollte daher besondere Beachtung geschenkt werden, da sich daraus resultierendes potentielles Nitrat von der Grundwasserscheide im gesamten WSG ausbreitet. Zudem wird empfohlen, die Schwankungen dieser Dynamik, die das Fließgeschehen und damit den Stofftransport vorgibt, genauer zu erfassen und zu untersuchen.

7.2.8 Gatzweiler

Im Kooperationsgebiet Gatzweiler wurden insgesamt 51 GWM (inkl. drei LANUV-Messstellen) und vier Brunnen zur hydrochemischen Analyse herangezogen. Die Erfüllung des Ausbaukriteriums (<10 m Filtertiefe) gestaltet sich in diesem Gebiet als schwierig, da die Filterstrecken zum Teil länger als 10 m sind und damit 15 m und tiefer reichen, was die Aussagekraft der Belastungssituation bezüglich Nitrat verringert. Aus diesem Grund wurde das Kriterium dahingehend entschärft, dass Messstellen als repräsentativ für die Nitratbelastung angesehen wurden, deren Filterunterkante zwar tiefer als 10 m, jedoch der überwiegende Teil der Filterstrecke im Teufenbereich bis 10 m liegt. Bei den untersuchten Messstellen betrug die maximale Tiefe der Filterunterkante 26 m. Die GWM wurden daher in folgende Kategorien eingeteilt:

- Filter überwiegend im Teufenbereich 10 – 15 m,
- Filter überwiegend im Teufenbereich >15 m und
- Filterstrecke länger als 15 m.

7.2.8.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Übersicht der Grundwasserbeschaffenheit im WSG Gatzweiler liegen hydrochemische Vollanalysen vor, deren Zeitspannen mit Messbeginn von 1996 – 2007 heterogen sind. Sie wurden teilweise im vierteljährlichen bis zweijährlichen Intervall aufgenommen. Die Analyseergebnisse zeigen keine Auffälligkeiten. Die Chloridkonzentrationen erreichen maximal 141 mg/l (Mittelwert: 34 mg/l). Hydrogencarbonat ist durchschnittlich mit 133 mg/l vertreten. Das Mittel der Sulfatkonzentrationen liegt bei 68 mg/l mit einem maximalen Einzelwert von 337 mg/l. Die Konzentrationen an Eisen (gesamt) liegen bei durchschnittlich 0,8 mg/l.

In Abbildung 155 ist die statistische Übersicht zur Verteilung der Nitratkonzentrationen dargestellt. Diese ist einerseits für die flach ausgebauten Messstellen gebietsbezogen (Prämien- und Maßnahmengebiet sowie außerhalb des Kooperationsgebietes liegende GWM), andererseits nach Filtertiefe bzw. –länge gegliedert. Die eindeutige räumliche Zuordnung der Grundwassermessstellen zum Prämiengebiet wurde durch die Größe der Zustromgebiete erschwert (s. Anhang 10.2.8). Aus diesem Grund ist die Anzahl der partiell im Prämiengebiet liegenden GWM höher. Die Konzentrationsverteilung bezüglich Nitrat ist jedoch vergleichbar mit den eindeutig zugeordneten GWM des Beratungs- und Prämiengebiets. Insgesamt ist eine flächendeckende Belastung von meist > 50 mg/l im gesamten Kooperationsgebiet festzustellen. Im südlichen Teil herrschen sehr heterogene Verhältnisse in der Nähe der Grundwasserscheide.

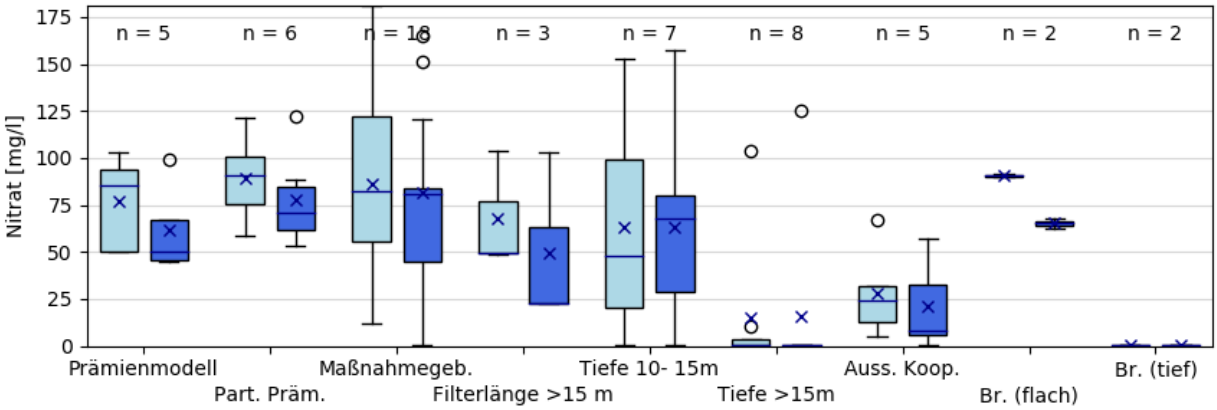


Abbildung 155: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser in Gatzweiler für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016 (dunkelblau) ;

Der Überblick zeigt, dass keine großen Diskrepanzen zwischen den räumlichen Einheiten innerhalb des Kooperationsgebietes bestehen. Die Medianwerte der Nitratmittelwerte der Grundwassermessstellen im Prämiengebiet bewegen sich zwischen 50 und 100 mg/l (Median ca. 90 mg/l) bezogen auf den gesamten Untersuchungszeitraum. Aktuell liegt der Median bei lediglich 50 mg/l. Das Beratungsgebiet mit Maßnahmenförderung (vorwiegend Zwischenfrucht) zeigt eine enorme Streuung der Werte zwischen nitratfreien Verhältnissen und 180 mg/l. Aktuell liegen die Werte noch auf diesem Niveau. Die Kategorie „Filterlänge >15 m“ zeigt trotz des starken Mischungscharakters der Konzentrationssignale erhöhte Nitratkonzentrationen bis zu 100 mg/l. Im oberen Stockwerk des Grundwasserleiters findet laut Cremer (2015) kein Nitratabbau statt, was diese Konzentrationen erklärt.

Lediglich die tiefer ausgebauten Grundwassermessstellen und die außerhalb des Kooperationsgebietes liegenden GWM besitzen geringere Mediane von bis zu 50 mg/l. Die acht Grundwassermessstellen, die unterhalb von 15 m verfiltert sind, zeigen mit einer Ausnahme keine oder nur geringe Nitratwerte, was auf eine in der Tiefe stattfindende Nitratzehrung schließen lässt (Cremer, 2015).

Die Konzentrationsverteilung ist in den Brunnen aufgrund der unterschiedlichen Ausbautiefen entsprechend heterogen. Die Horizontalfilterbrunnen (BR00901 und BR00902) sind der höchsten Belastung mit Mittelwerten von ca. 90 mg/l ausgesetzt. Ausgehend von den Höchstkonzentrationen in den 90er Jahren von 100 – 120 mg/l setzte Anfang der 2000er Jahre eine Abnahme ein, die bis 2012 andauerte (s. Anhang 10.3.8, Ganglinien). In zehn0 Jahren verringerten sich die Konzentrationen um ca. 50 mg/l, was einer Abnahmerate von 5 mg/l pro Jahr entspricht. Bei Berücksichtigung des gesamten betrachteten Zeitraums fällt diese jedoch geringer aus. Seit 2013 stagnieren die Konzentrationen. Die tiefer ausgebauten Brunnen sind durch Tonschichten von darüber liegenden Förderhorizonten getrennt und praktisch nitratfrei.

7.2.8.2 Einfluss von Infiltrationswasser auf Nitratkonzentrationen

Der oberflächennahe Grundwasserleiter ist durch die künstliche Grundwasseranreicherung beeinflusst. Eine der Infiltrationsanlagen befindet sich mitten im Prämiengebiet. Weitere Anlagen zur Wasserinfiltration liegen ca. 1 km südöstlich. In 2016 lag der ermittelte Anteil des nitratfreien Infiltrationswassers im oberflächennahen Grundwasserleiter bei über 80% in der Nähe der Infiltrationsanlagen.

In den Horizontalfilterbrunnen waren die Anteile mit <20% noch gering. Flächenhafte Berechnungen deuten an, dass im WSG Gatzweiler mit einem flächendeckenden Einfluss durch Infiltrationswasser von >20% gerechnet werden muss (MULNV, 2018). Dies bestätigt sich in den berechneten Infiltrationswasseranteilen für den Brunnen 1 (s. Abbildung 156). Die räumliche Datendichte ist für das Kooperationsgebiet relativ gering, was keine detaillierten lokalen Aussagen ermöglicht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Vermischung des Grundwassers mit dem nitratfreien Infiltrationswasser zu einer Verringerung der Nitratwerte im GWL führt.

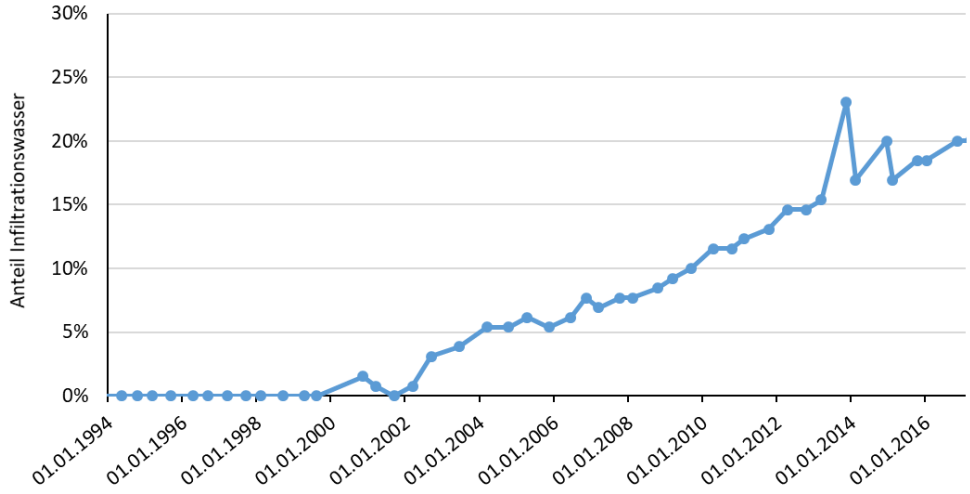


Abbildung 156: Anteil an Infiltrationswasser im Brunnen 1

Der Einfluss des Infiltrationswassers kann mittels des Leitparameters Hydrogencarbonat mit Konzentrationen von ca. 320 mg/l im Infiltrationswasser quantifiziert werden (MULNV, 2018). Da die Tiefenstufen unterschiedlich stark vom Infiltrationswasser beeinflusst sind, muss berücksichtigt werden, dass das Ergebnis von der Filterlage abhängig ist. Zur Quantifizierung des Einflusses wurden die zeitlichen Verläufe der Leitparameter Hydrogencarbonat, Sulfat und Nitrat betrachtet. In 16 GWM wurden aufgrund markanter Anstiege des Parameters Hydrogencarbonat und eines Abfalls der Sulfatkonzentrationen Einflüsse durch Infiltrationswasser festgestellt. Die Auswertung wurde durch zum Teil stark schwankende Konzentrationsverläufe erschwert. In zehn Grundwassermessstellen lag die Nitratkonzentration über der Bestimmungsgrenze, so dass anhand des Verlaufs der Nitratganglinie eine Nitratverringerung für den gleichen Zeitraum ermittelt werden konnte. Der Infiltrationswasseranteil ist der Nitratabnahme in Abbildung 157 gegenübergestellt.

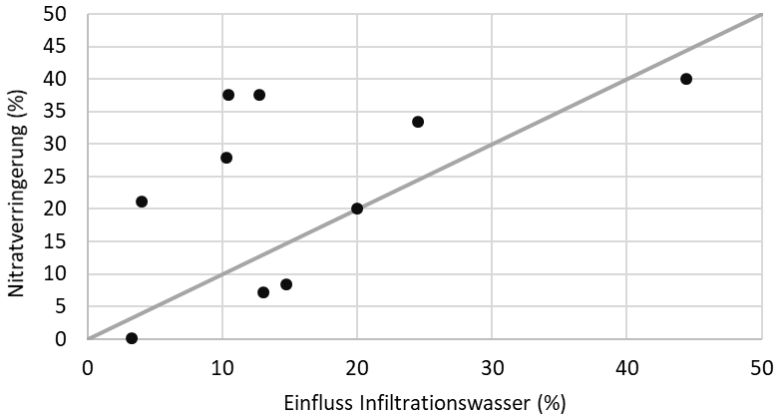


Abbildung 157: Gegenüberstellung der Nitratverringerung und des Einflusses des Infiltrationswassers im WSG Gatzweiler

Einige Datenpunkte liegen auf der Einheitslinie, woraus sich schließen lässt, dass der Infiltrationswasseranteil in diesen Fällen die Nitratverringerung bestimmt. Andererseits wurden GWM identifiziert, deren Nitratabnahme zwar durch das Infiltrationswasser beeinflusst ist, dessen Anteil dafür jedoch nicht ausreichend sein kann. Folglich müssen in diesen Fällen andere Faktoren bestimmend für die Nitratverringerung sein. Da im oberen Grundwasserleiter kein Nitratabbau stattfindet (Cremer, 2015), bieten sich die Kooperationsmaßnahmen als Erklärung an. Abzüglich der nitratfreien Infiltrationswasseranteile wäre die Nitratverringerung in den untersuchten GWM in Abbildung 157 zu maximal 28% (als Differenz der Nitratverringerung aus Ganglinien und dem Einfluss des Infiltrationswassers) auf die Kooperation zurückzuführen.

7.2.8.3 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Lediglich zwei GWM haben die Kriterien für die Trendermittlung nicht eingehalten. Die Magnituden der Trends sind im Kooperationsgebiet (Prämienmodell, Förderung/Beratung, partiell) im Vergleich zu den übrigen Kategorien relativ deutlich in Richtung fallender Nitratentwicklungen ausgeprägt (s. Abbildung 158). IWW (2006) stellte im Vergleich überwiegend in 56% der GWM nicht-signifikante Trends fest. Der restliche Teil besaß gleichermaßen fallende und steigende Trends.

Die Signifikanz der Steigungen ist im Allgemeinen stark ausgeprägt (s. Abbildung 159), d. h. es dominieren signifikante Entwicklungen gegenüber Verläufen ohne statistische Signifikanz. Die Mediane liegen bei -2 mg/l pro Jahr im Prämiengebiet und bei -1 mg/l pro Jahr im Förderungs- bzw. Beratungsgebiet, dessen Nitratentwicklung jedoch höchst heterogen ausgeprägt ist. Die fallenden Konzentrationsentwicklungen sind überwiegend signifikant, während geringere Anteile der steigenden Werte eine statistische Signifikanz besitzen. Einzelne Messstellen zeigen Abnahmeraten von bis zu 11 mg/l pro Jahr (2266/031.1 und 227/041.1), es ist aber auch eine stark steigende Nitratentwicklung in der Messstelle 21814661 mit 12,3 mg/l pro Jahr erkennbar. Die Trends der genannten Extrembeispiele sind ausnahmslos statistisch signifikant. Sie befinden sich zum Teil nördlich des Prämiengebietes und zum Teil südlich, daher bestehen keine räumlichen Zusammenhänge (s. Anhang 10.2.8).

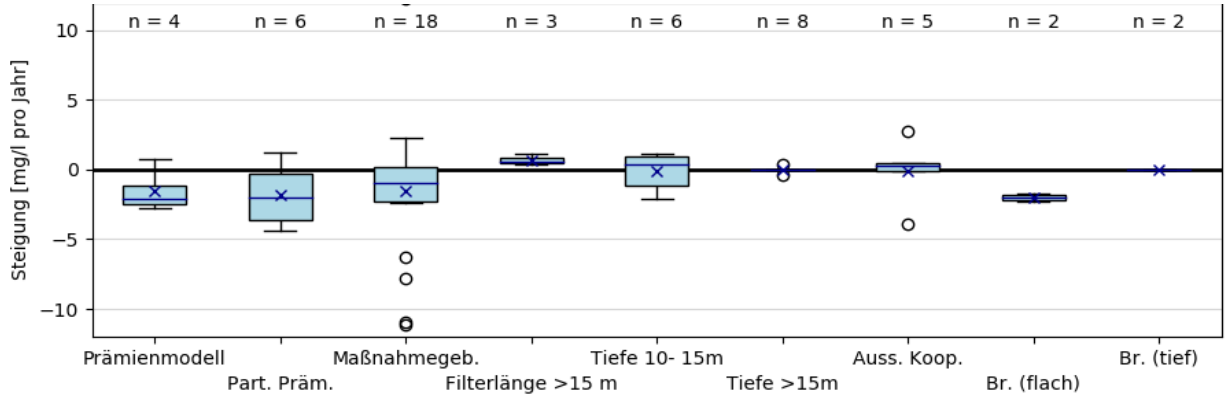


Abbildung 158: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Gatzweiler

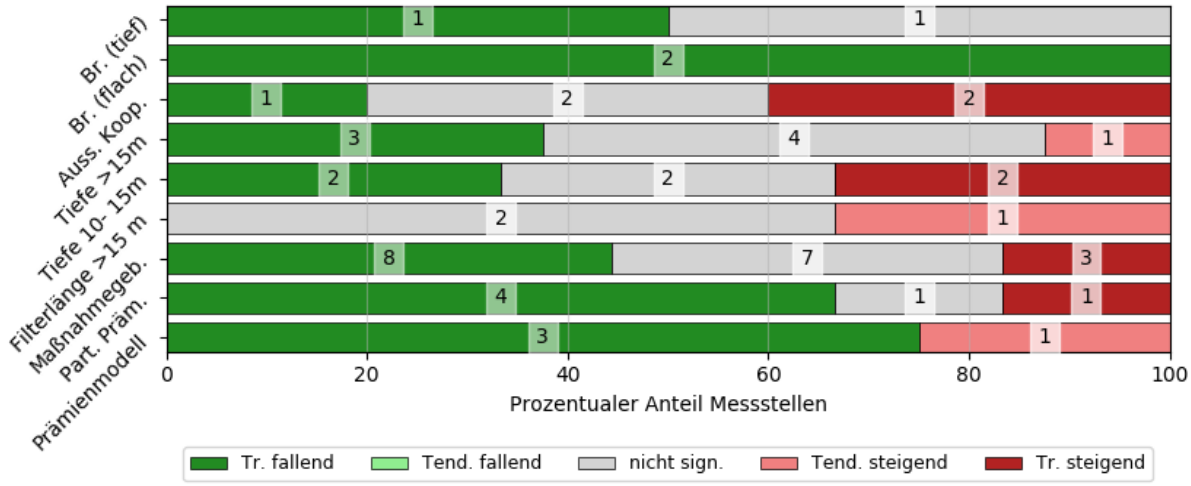


Abbildung 159: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Gatzweiler

Die tief verfilterten GWM zeigen hinsichtlich der Steigungen der Nitratentwicklung geringe Spannweiten mit kleinen Steigungsbeträgen bis maximal 1 mg/l pro Jahr, von denen 30 bis 50% signifikant sind. Die GWM mit langen Filtern neigen mit sehr engen Spannweiten zu leicht steigenden Konzentrationen mit signifikantem Trend. Die Brunnen zeigen hingegen überwiegend fallende Konzentrationsentwicklungen mit Steigungsbeträgen von 1 bis 2 mg/l pro Jahr, die mit einer Ausnahme (BR00904, tiefer Ausbau) alle eine statistische Signifikanz besitzen.

Aus Abbildung 159 geht hervor, dass der überwiegende Anteil der Messstellen im Untersuchungsgebiet signifikant fallende Trends aufweist. Allerdings wurden auch bei insgesamt neun Grundwassermessstellen signifikant steigende Trends festgestellt, die näher zu betrachten sind. Teilweise beginnt die Datenaufzeichnung der betroffenen GWM Anfang der 1990er Jahre. Seitdem hat die Konzentrationsentwicklung eine Steigung erfahren. Dies wird durch eine in der Nähe befindliche LANUV-GWM (Nr. 010201282) bestätigt, die seit 1998 zunehmende Nitratwerte aufweist. In den von steigenden Trends betroffenen GWM mit langen Filtern >15 m sinken die Konzentrationen bereits seit 2004.

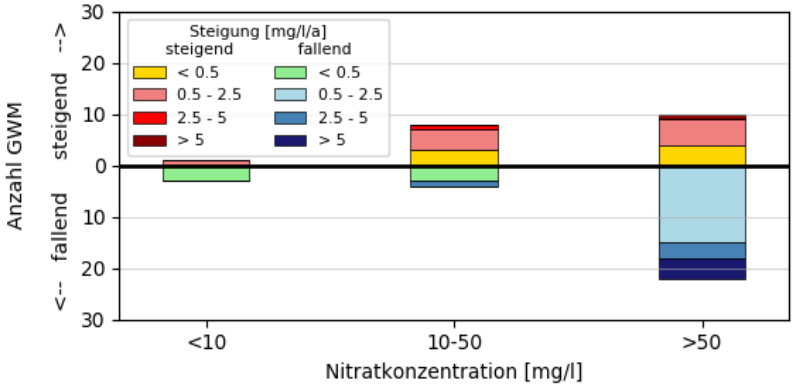


Abbildung 160: Steigung der Nitrattrends gegenüber Nitratkonzentrationsklasse im WSG Gatzweiler

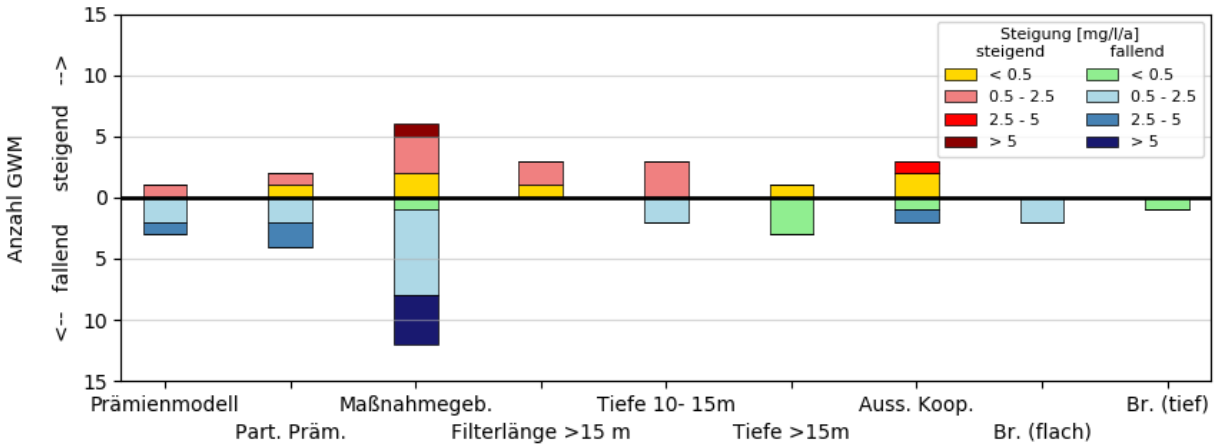


Abbildung 161: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Maßnahme im WSG Gatzweiler

Bei Betrachtung der Nitratganglinien (s. Anhang 10.3.8) ist festzustellen, dass sich bei hochbelasteten GWM (Nitrat >100 mg/l) überwiegend fallende Konzentrationen eingestellt haben, während in GWM mit Nitratwerten <100 mg/l kein Muster in der zeitlichen Entwicklung erkennbar ist. Diese Beobachtung bestätigt sich bei der Gegenüberstellung der Trendmagnituden und der Nitratklassen in Abbildung 160. Darin spiegelt sich erneut die hohe Nitratbelastung des Gebietes wider, da mehr als 30 GWM, also über 60% der Messstellen mittlere Nitratwerte von >50 mg/l aufweisen. Während in den Konzent-

rationsklassen <50 mg/l wenige GWM vertreten sind und positive und negative Steigungen ausgeglichen sind, überwiegen bei den GWM >50 mg/l negative Steigungen in doppelter Anzahl. In der maßnahmen- bzw. tiefenbezogenen Darstellung in Abbildung 161 zeigt sich, dass sich im Kooperationsgebiet (Prämienmodell, Gebiet mit Beratung und Fördermaßnahmen) fallende Trends eingestellt haben, die auch entsprechend hohe Beträge von 0,5 bis 2,5 mg/l und teilweise >5 mg/l pro Jahr besitzen, vor allem im Gebiet mit Beratung und Fördermaßnahmen.

Vier GWM fallen mit hohen Abnahmeraten (dunkelblau) auf, wovon zwei GWM Werte von ca. -11 mg Nitrat/l pro Jahr besitzen (2266/031.1 und 2270/041.1). Diese liegen in der Nähe der Infiltrationsanlagen, daher ist eine durch die Kooperationsmaßnahmen verursachte Nitratverringerung hier in Frage zu stellen. Sechs GWM zeigen im Gebiet mit Beratung und Fördermaßnahmen steigende Werte, die bereits oben näher betrachtet wurden. Zudem zeigen die tiefendifferenzierten Daten eine höhere Anzahl an GWM mit fallenden Nitratkonzentrationen mit zunehmender Tiefe, was eine Tendenz zur vertikalen Nitratverlagerung nahelegt. Außerhalb des Kooperationsgebietes liegende GWM zeigen sowohl fallende als auch steigende Nitratentwicklungen mit mittleren bis hohen Steigungsbeträgen bis 2,5 mg/l pro Jahr.

In Abbildung 162 sind die Herbst-N_{min}-Daten den Gebietsmittelwerten von Nitrat im Grundwasser für den Zeitraum 2008 – 2017 dargestellt. Die Nitratmittelwerte im Prämiengebiet des WSG Gatzweiler zeigen insgesamt einen fallenden Charakter, der temporär stagnierte bzw. leicht anstieg. In neun Jahren konnten die Konzentrationen von 90 mg/l auf 60 mg/l gesenkt werden, was einer Abnahmerate von ca. -3 mg/l pro Jahr entspricht und mit den einzeln ermittelten Trends der GWM (Median ca. -2 mg/l pro Jahr) vergleichbar ist. Die flächengewichteten Herbst-N_{min}-Daten zeigen starke Schwankungen von rund 50 bis 90 kg N/ha.

Das höchste Bestimmtheitsmaß in der Korrelation zwischen den Datensätzen ergab sich bei einer relativen Verschiebung um drei Jahre. Unter Berücksichtigung der großen Unschärfe, die sich bei einem solchen Vergleich ergibt, handelt es sich um eine gute Übereinstimmung zwischen relativer zeitlicher Verschiebung und einer mittleren Sickerwasserverweilzeit der betroffenen Messstellen von ca. vier Jahren (Spannweite 1 bis 8 Jahre).

Aus der Steigung der linearen Regression ergibt sich ein schwach quantitativer Zusammenhang zwischen Herbst-Nmin und Nitratdaten. Dieser besteht darin, dass bei einer Erhöhung bzw. Verringerung der flächengewichteten Herbst-N_{min}-Werte um 10 kg N/ha nach wenigen Jahren eine Steigerung bzw. Verminderung der Nitratkonzentration um 2 bis 3 mg/l im Grundwasser zu erwarten ist. Andere Gebiete besitzen demgegenüber ein Änderungspotential von ca. 6 mg/l Nitrat im Grundwasser bei Änderung der Herbst-N_{min}-Gehalte um 10 kg N/ha. Es ist zwar zu bemerken, dass es sich um grobe Schätzungen handelt und der Zusammenhang nur sehr schwach ausgeprägt ist, jedoch wurde bereits vom IWW (2006) aus einem Vergleich zwischen Bewirtschaftungsintensität und vorgefundenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser mit dem WSG Dülken-Boisheim geschlussfolgert, dass ungünstige Standortfaktoren für eine vergleichsweise hohe Nitratbelastung im WSG Gatzweiler sorgen. Das vorliegende Ergebnis relativ geringer Auswirkungen von Veränderungen der Herbst-N_{min}-Gehalte auf das Grundwasser im WSG Gatzweiler drückt die Trägheit des hydrogeologischen Systems aus. Der langjährigen intensiven Bewirtschaftung stehen nun Kooperationsmaßnahmen entgegen, die eine vergleichsweise kurze Zeitspanne umfassen.

Die Abschätzung der Sickerwasserkonzentrationen gemäß DVGW & DWA (2019) im Prämiengebiet wurde auf Grundlage der flächengewichteten Herbst-N_{min}-Daten, einer mittleren Grundwasserneubildung von 230 mm/a aus dem Modell mGROWA (FZ Jülich 2013) und einer gemittelten nutzbaren Feldkapazität von 158 mm aus der BK50 NRW durchgeführt. Für den Betrachtungszeitraum werden in der Regel Ergebnisse von ca. 100 – 120 mg/l erreicht (s. Abbildung 163), was nur zeitweise (z. B. im Jahr 2011) in Übereinstimmung mit dem geringeren Gebietsmittel der gemessenen Nitratkonzentrationen steht. Dabei bleibt ein potentieller Nitratabbau in der ungesättigten Zone jedoch unberücksichtigt, der möglicherweise eine Rolle spielt. Vor allem jedoch sind die Nitratwerte durch Verdünnungen infolge der Wasserinfiltration beeinflusst. Eine scharfe Trennung der Prozesse ist anhand der vorliegenden Daten nicht möglich. Auf Grundlage der letzten Nitratwerte werden weiterhin hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser erwartet, die womöglich zu einer Stagnation bzw. leichten Erhöhung der Konzentrationen im Gebietsmittel führen.

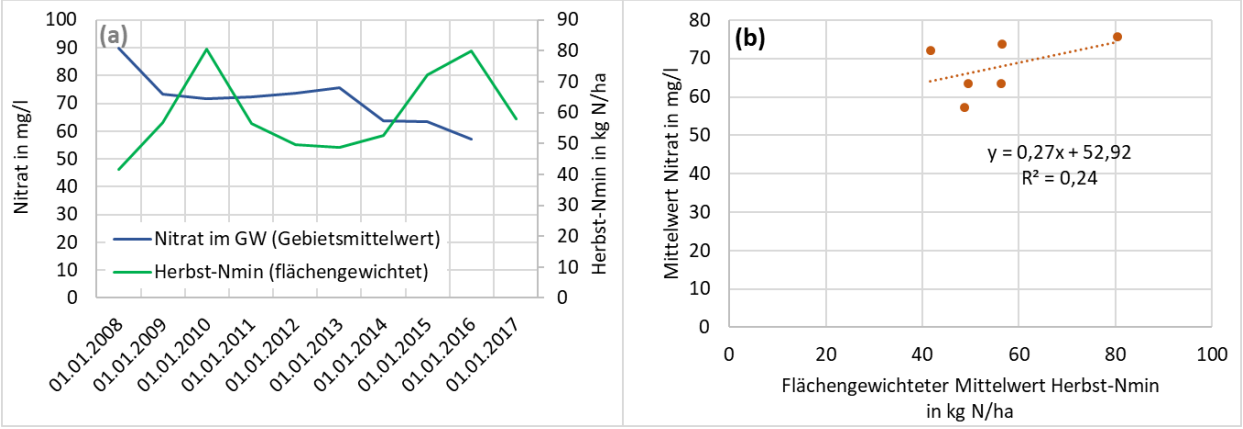


Abbildung 162: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) sowie als Scatterplot mit zeitlichem Versatz von drei Jahren (b)

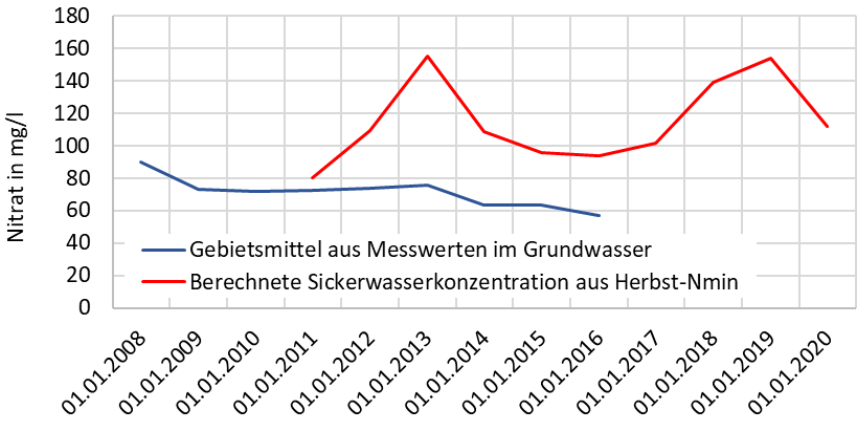


Abbildung 163: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von drei Jahren

7.2.8.4 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Der lange Zeitraum der zur Verfügung stehenden Daten liefert eine gute Grundlage für die Bewertung der seit 1992 existierenden Kooperation im WSG Gatzweiler, die im Jahr 2005 um das Prämienmodell in der Trinkwasserschutzzone III A zur Senkung der Nitratgehalte erweitert wurde. Das Grundwasser ist flächendeckend mit Nitrat belastet. Die Mediane der zeitlich gemittelten Nitratkonzentrationen liegen im Kooperationsgebiet bei 80 – 90 mg/l. Eine Gliederung in verschiedene Maßnahmengebiete (Prämienmodell und Maßnahmengebiet) mit unterschiedlichem Bedarf an Nitratverringerungspotentialen ist nur bezogen auf den nahen Zustrom, jedoch nicht in Hinblick auf die Konzentrationsverteilung, zu rechtfertigen. Aufgrund der vorgefundenen Belastungssituation wird festgestellt, dass im gesamten Kooperationsgebiet gleichermaßen Handlungsbedarf hinsichtlich intensiver Kooperationsarbeit besteht. Zudem begünstigt die Größe der Zustromgebiete Einträge aus den grenznahen Bereichen außerhalb des Kooperationsgebietes.

Insgesamt unterliegt das Kooperationsgebiet heterogenen Nitratentwicklungen mit überwiegend signifikant fallenden Trends. Dieser stehen teilweise steigende und fallende Nitratverläufe außerhalb des Kooperationsgebietes gegenüber, die kein klares Muster zeigen. Damit wird grundsätzlich eine positive Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Kooperationsgebiet festgestellt, vor allem im Prämiengebiet, das im Zeitraum 2014 bis 2016 einen Median von 50 mg/l Nitrat aufwies. Innerhalb bzw. partiell im Prämienmodell liegende Messstellen besitzen im Mittel eine Abnahmerate von -2 mg/l pro Jahr bezüglich Nitrat.

Das Gebiet zeichnet sich landwirtschaftlich im Prämiengebiet durch Kartoffel-, Getreide und Zuckerrübenanbau mit Herbst-N_{min}-Gehalten von durchschnittlich 60 kg N/ha aus. Vor allem Kartoffeln besitzen hohe Herbst-Nmin von ca. 130 kg N/ha. Die zeitliche Entwicklung der Herbst-N_{min}-Daten und die Abschätzung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser deuten darauf hin, dass in einigen Jahren weiterhin hohe Herbst-Nmin und damit hohe Bodenstickstoffgehalte im Prämiengebiet bestehen und damit die Auswaschungsgefahr des Stickstoffs im Anstrom der Brunnenfassungen weiterhin hoch ist. Die deutliche Verringerung der Herbst-N_{min}-Werte sollte im Kooperationsgebiet ein vorrangiges Ziel sein.

Vor dem Hintergrund belastbarer Anzeichen für ein träges natürliches System, das über lange Zeit vor den Kooperationsmaßnahmen intensiv bewirtschaftet wurde, ist es unabdingbar schnell Nitrateintragspotentiale zu minimieren und diese langfristig auf niedrigem Niveau zu stabilisieren.

Die Abnahmerate im Maßnahmengebiet ist mit -1 mg/l pro Jahr deutlich geringer als im Extensivierungsgebiet. Räumlich ist das Gebiet hinsichtlich des Konzentrationsniveaus an Nitrat und der Trends sehr heterogen ausgeprägt. Lokal konnten auch negative Entwicklungen mit steigenden Nitratwerten identifiziert werden. In sechs oberflächennah verfilterten GWM herrschen seit den 90er Jahren signifikant steigende Trends, in deren Konzentrationsverläufen keinerlei Wirkung der Kooperation sichtbar ist. Die am häufigsten in Anspruch genommenen Maßnahmen im Förder- und Beratungsgebiet sind die Förderung des Zwischenfruchtanbaus, die damit nur eine begrenzte Wirksamkeit hinsichtlich der Verringerung des Nitrateintrags in das Grundwasser zeigt.

Die Bewertung der Kooperationsmaßnahmen im WSG Gatzweiler wird durch den Infiltrationswasseranteil deutlich erschwert. Der von den Infiltrationen herrührende Verdünnungseffekt konnte mit den vorliegenden charakteristischen Konzentrationsverläufen teilweise eliminiert werden. Aus den Ergebnissen wurde abgeleitet, dass die Nitratverringerungen lokal womöglich ausschließlich auf die künstliche Grundwasseranreicherung mit nitratfreiem Infiltrationswasser zurückzuführen sind, in einigen Fällen jedoch auch die Kooperationsmaßnahmen eine entscheidende Rolle bei der Senkung der Nitratgehalte spielen. Sowohl auf kurze als auch auf lange Sicht muss der Einfluss des Infiltrationswassers beobachtet und adäquat erfasst werden. Werden die Infiltrationen des nitratarmen Wassers im Kooperationsgebiet eingestellt, muss unter Umständen mit einer Stagnation der Nitratkonzentrationen gerechnet werden.

Die Brunnen zeigen bisher signifikant fallende Trends, jedoch können Aussagen zum Erhalt dieses Zustands mit den vorliegenden Befunden lokal steigender Nitratwerte nicht getroffen werden. Aus Gründen der Vorsorge sollten daher die genannten Handlungsempfehlungen abgewogen werden.

7.2.9 Dülken-Boisheim

Im gemeinsamen Kooperationsgebiet Dülken-Boisheim wurden insgesamt 19 Grundwassermessstellen, darunter vier LANUV-Messstellen und acht Brunnen mit jährlich verfügbaren im Zeitraum 1999 bis 2017 analysiert. Bei einigen Messstellen reicht der Messbeginn bis 1987 zurück. Der Analysezeitraum wurde jedoch, falls erforderlich, an den Kooperationsbeginn ab 1992 angepasst. Bezüglich der Auswahl der Brunnen wurden auf tief ausgebaute Brunnen in die Analyse miteinbezogen, da in Dülken lokal hydraulische Verbindungen zwischen oberstem Grundwasserleiter und tiefen Förderhorizonten bestehen.

7.2.9.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beschreibung der Verteilung der Nitratkonzentrationen stehen hydrochemische Vollanalysen und PSM-Analysen für ausgewählte Wirkstoffe und Metabolite zur Verfügung. Bei der allgemeinen Sichtung der Hauptkat- und -anionen wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Die Chloridwerte betragen durchschnittlich 35 mg/l (Maximalwert 100 mg/l), Sulfat reicht von 3 bis 213 mg/l (Mittelwert: 61 mg/l). Hydrogencarbonat liegt im Mittel bei 188 mg/l mit einem Maximum von 586 mg/l.

Erste Analysen zu PSM fanden im WSG Dülken-Boisheim Ende der 80er Jahre statt. Für einen Überblick zu PSM-Befunden und -Konzentrationen wurde für jede GWM die Maximalkonzentration unter den untersuchten Einzelstoffen ermittelt. Dabei wurden in elf der ausgewählten Messstellen Konzentrationsüberschreitungen von 0,1 µg/l, dem Grenzwert der TrinkwV (2018), festgestellt. Am häufigsten wurde Atrazin mit 0,28 µg/l nachgewiesen. Die Abbauprodukte Desethyl-Atrazin und Desisopropyl-

Atrazin wurden ebenfalls auf diesem Konzentrationsniveau vorgefunden. Auch fanden Nachweise von Ethofumesat (0,79 µg/l), Isoproturon (0,25 µg/l) und Chloridazon (0,12 µg/l) statt. In den Brunnen wurden maximale Werte des nicht-relevanten Metaboliten Chloridazon-Desphenyl von 13 µg/l festgestellt, der mehr als vierfachen Überschreitung des GOW von 3 µg/l (UBA, 2019).

In Abbildung 164 sind zeitlich gemittelte Nitratgehalte der untersuchten Gebietskategorien dargestellt. Im Extensivierungsgebiet mit Prämienmodell werden mit 75 bis 150 mg/l Nitrat (Median: 115 mg/l) hohe Belastungen festgestellt. Die Messstelle 1880/001.1, die zwischen den beiden Wassergewinnungsanlagen links der Nette liegt, besitzt darüber hinaus ein zeitlich gemitteltes Konzentrationsniveau 220 mg/l. Im Vergleich dazu stehen die GWM außerhalb des Kooperationsgebietes, die ausschließlich aus LANUV-Messstellen bestehen. Die Nitratkonzentrationen liegen hier überwiegend bei 50 bis 100 mg/l, im Einzelfall bei ca. 200 mg/l. Es ist bemerkenswert, dass unter den zeitlich gemittelten Nitratwerten keine Messstelle Gehalte unter 50 mg/l aufweist.

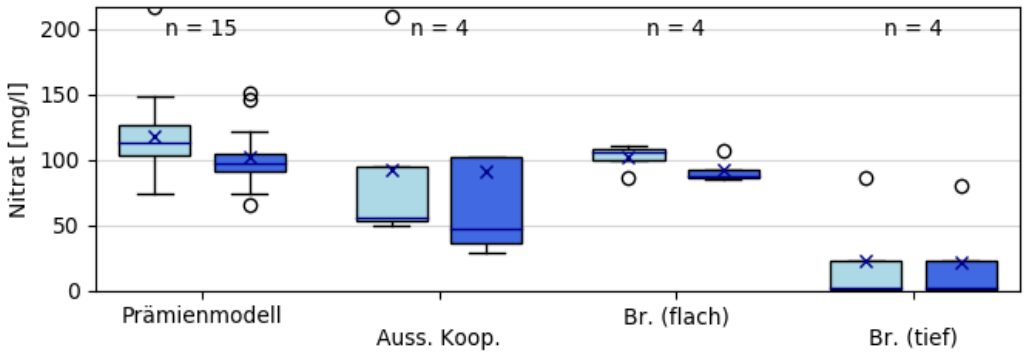


Abbildung 164: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser der GWM im WSG Dülken-Boisheim für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) sowie 2014 – 2016

Insgesamt wird damit eine flächendeckende starke Nitratbelastung im oberflächennahen Grundwasserleiter festgestellt. Dies schlägt sich auch in der räumlichen Übersicht mit überwiegend hohen Nitratklassen nieder (s. Anhang 10.2.9). Die hohen Konzentrationsniveaus in den Vorfeldmessstellen spiegeln sich in den flach ausgebauten Brunnen wider, die Gehalte von 70 bis 110 mg/l erreichen. Die tief ausgebauten Brunnen sind nitratfrei oder besitzen nur geringe Konzentrationen.

7.2.9.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Nitratgehalte wurde eine Trendanalyse für die gesamten jeweiligen Analysezeiträume durchgeführt. Lediglich eine GWM hat die Kriterien für die Trendanalyse nicht eingehalten. Die Magnituden der ermittelten Steigungen sind in Abbildung 165 aufgeführt. Das Prämiengebiet zeigt ausschließlich fallende Nitratentwicklungen bis zu -4,5 mg/l pro Jahr mit einem Median von jährlich -3 mg/l. Von den 14 im Prämiengebiet befindlichen GWM weisen zehn einen signifikant fallenden Trend auf.

Keine der Grundwassermessstellen besitzt steigende Trends oder Tendenzen (s. Abbildung 166). Die Referenzmessstellen des LANUV außerhalb des Kooperationsgebietes zeigen variable Steigungen von -3 bis 3 mg/l pro Jahr, die meist signifikant sind.

Die einzelnen Ganglinien der Grundwassermessstellen (s. Anhang 10.3.10) weisen Gemeinsamkeiten auf. In der Regel tritt eine Trendumkehr etwa Anfang der 2000er von steigenden zu fallenden Nitratentwicklungen ein, die etwa zehn Jahre anhält. Um das Jahr 2010 treten überwiegend stagnierende Verhältnisse ein. Die resultierenden Konzentrationen liegen häufig unter den vorherigen Konzentrationen Mitte der 1990er Jahre, woraus sich die überwiegend fallenden Trends ergeben. Einzelne GWM stagnieren über den gesamten Zeitraum seit Anfang der 1990er Jahre, z. B. die Messstellen 2078/009.1 oder 2080/013.1.

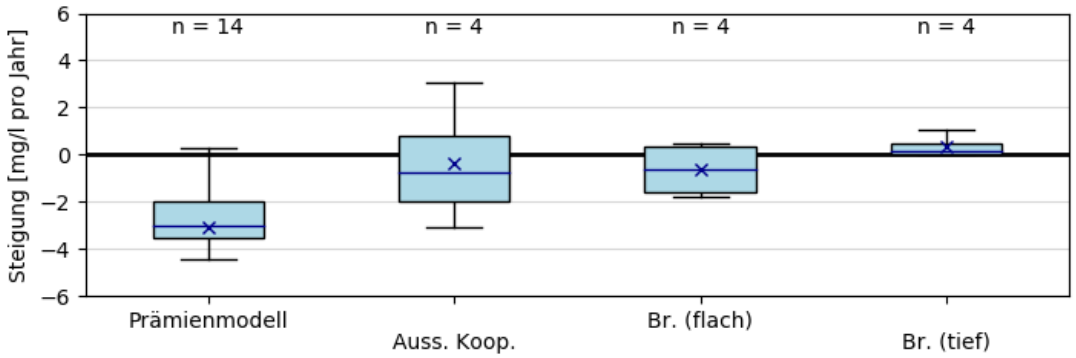


Abbildung 165: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Dülken-Boisheim (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz)

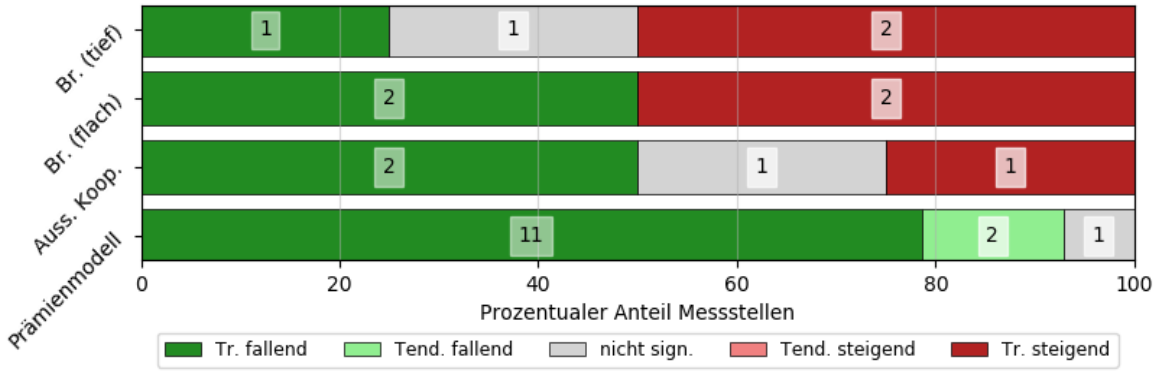


Abbildung 166: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Dülken-Boisheim

Die Brunnen zeigen für die Analyse des gesamten Zeitraums schwächer ausgeprägte Trends, die sich vor allem in den flach ausgebauten Brunnen finden. Diese zeigen ausnahmslos statistisch signifikante Entwicklungen mit Steigungen von ca. -2 bis 0,5 mg/l pro Jahr. Dies zeigt, dass die fallenden Trends stärker ausgeprägt sind als die schwächer steigenden Entwicklungen. Unter den Tiefbrunnen der Wassergewinnungsanlage Dülken befindet sich ein einzelner Brunnen (BR10106) mit einer Steigung von knapp 1 mg/l pro Jahr und statistischer Signifikanz.

Die Ganglinien der Brunnen des Bereiches Dülken weisen ähnliche Merkmale wie die Vorfeldmessstellen auf. Nach zunächst steigenden Nitratentwicklungen weisen sie seit Anfang der 2000er Jahre fallende Konzentrationen auf, die sich in der automatisierten Trendanalyse widerspiegeln. Zuletzt lagen die Nitratgehalte bei ca. 80 mg/l in den drei höher belasteten und ca. 2 mg/l in den gering belasteten Brunnen. Die Brunnen in Boisheim zeigen ein abweichendes Verhalten. Die zwei flach ausgebauten Brunnen (BR11002 und BR11004) sind stark belastet und weisen steigende Trends auf.

In Abbildung 167 sind die Steigungen des Parameters Nitrat in den GWM den Konzentrationsklassen und Gebiets- bzw. Messstellenkategorien gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die hohen Konzentrationsklassen klar dominieren. Die bereits beschriebene starke Belastungssituation spiegelt sich in dieser Verteilung erneut wider, da kaum Messstellen in den Konzentrationsklassen <50 mg/l vertreten sind. Der überwiegende Teil der stark belasteten GWM weist fallende Nitratentwicklungen auf, die mit Steigungsbeträgen von meist <2,5 mg/l nur mäßig ausgeprägt sind. Acht Fälle weisen höhere Verringerungsraten zwischen -2,5 und -5 mg/l bzw. pro Jahr auf.

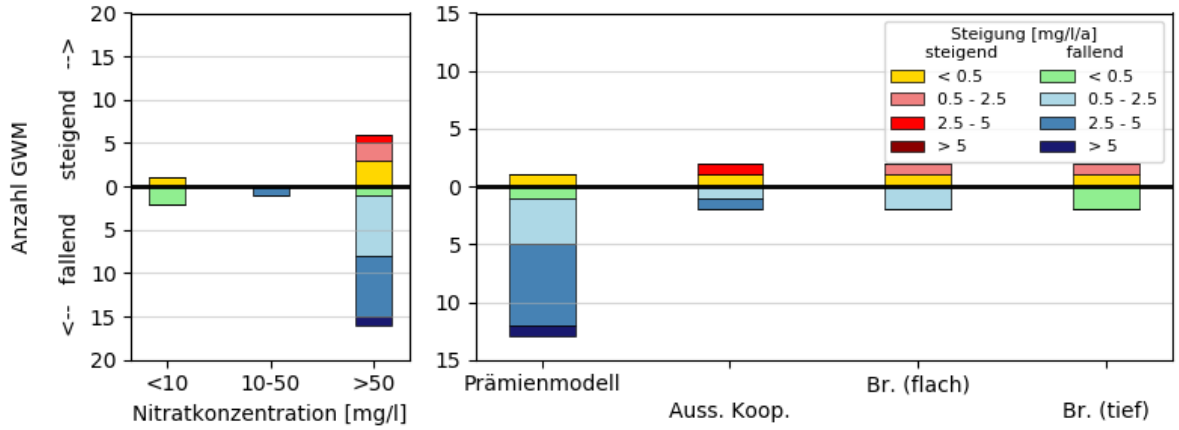


Abbildung 167: Verteilung der Steigung der Nitrattrends hinsichtlich Nitratkonzentrationsklasse (links) und Maßnahme (rechts) im WSG Dülken-Boisheim

In Abbildung 167 (rechts) deutet sich der Erfolg des Extensivierungsgebietes an, da nahezu ausschließlich fallende Trends festzustellen sind, deren Magnituden sich im mittleren (0,5 bis 2,5 mg/l pro Jahr) bis erhöhten Bereich (2,5 – 5 mg/l pro Jahr) bewegen. Die meisten Brunnen weisen steigende Entwicklungen auf, deren Steigungsbeträge jedoch mit <0,5 mg/l pro Jahr weitestgehend gering sind. In zwei Fällen liegen die Steigungen über 0,5 mg/l pro Jahr. Dabei handelt es sich um die Brunnen BR10106 (Dülken) und BR11004 (Boisheim).

In Abbildung 168 wurden die Zusammenhänge zwischen flächengewichteten Herbst-Nmin und Nitratwerten im Grundwasser untersucht. Die Herbst-N_{min}-Werte reichen von 1994 bis 2017 und bilden damit eine umfangreiche Grundlage zur Untersuchung der Zusammenhänge mit Nitratgehalten im Grundwasser. Allerdings konnten in diesem Fall mangels Flächeninformationen zu den Herbst-N_{min}-Daten keine flächengewichteten Jahreswerte berechnet werden, sondern es wurde für jedes Jahr der arithmetische Mittelwert gebildet. Die durch die unbekannt unterschiedlichen Flächengrößen auftretende Verzerrung muss bei der Bewertung berücksichtigt werden.

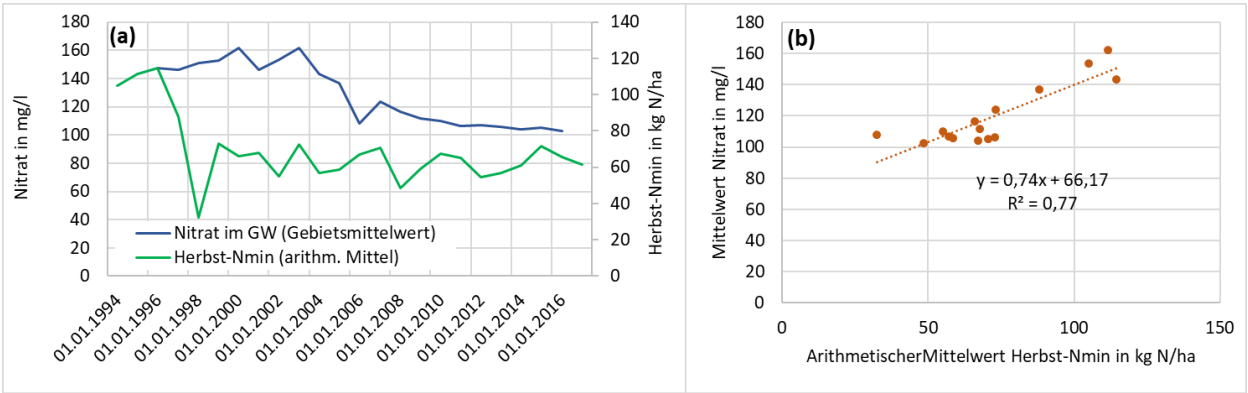


Abbildung 168: Gegenüberstellung der mittleren Nitrat- und Herbst-N_{min}-Werte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell (a) sowie als Scatterplot (b) mit zeitlichem Versatz von acht Jahren

Bis 1997 lagen die N_{min}-Werte bei ca. 110 kg N/ha und fielen in den Folgejahren rapide auf etwa 70 kg N/ha. Seitdem sind die Werte im langjährigen Mittel nur geringfügig verändert und liegen mittlerweile bei 60 bis 70 kg N/ha. Seit der letzten Auswertung des IWW (2006) erfuhren die Werte kaum eine Veränderung. Der auf den gesamten Zeitraum bezogene Rückgang der Herbst-N_{min}-Gehalte hat sich auch in den Gebietsmitteln der Nitratwerte bemerkbar gemacht, die von etwa 160 mg/l Mitte der 90er Jahre auf ca. 100 mg/l im Jahr 2017 gesunken sind. Zudem eröffnete die lange Datenreihe bessere Möglichkeiten zur Untersuchung der maximalen Korrelation bei relativer zeitlicher Verschiebung der Datensätze. Diese wurde nach acht Jahren mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,77$ erreicht,

was im Bereich der durchschnittlichen Sickerwasserverweilzeit von sieben Jahren liegt. Die Steigung der Regressionsgeraden deutet an, dass eine Zunahme bzw. Abnahme der Herbst-Nmin um 10 kg N/ha nach einigen Jahren eine Erhöhung bzw. Verringerung der Nitratwerte im Grundwasser in der Größenordnung von etwa 7 mg/l bewirkt. Dieses Verhältnis deutet eine relativ hohe Sensitivität der Nitratwerte gegenüber den Herbst-N_{min}-Werten an.

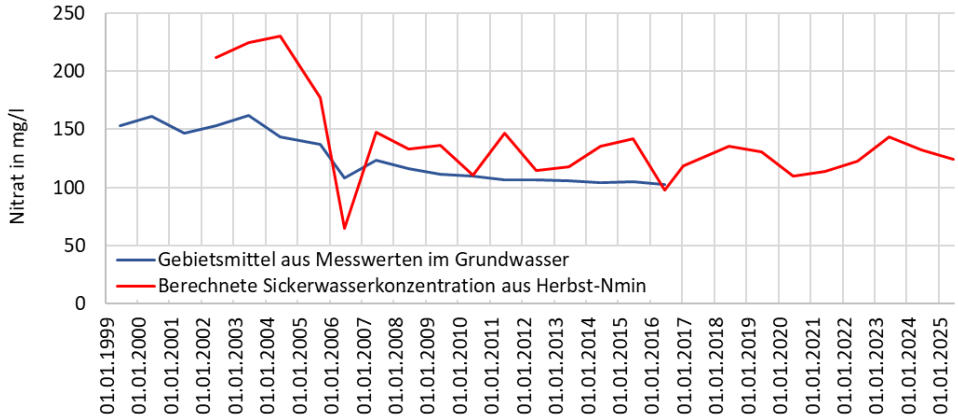


Abbildung 169: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Nitratwerte als Ganglinien für das Gebiet mit Prämienmodell mit zeitlichem Versatz von acht Jahren

In Abbildung 169 sind die gemäß DVGW & DWA (2019) berechneten Sickerwasserkonzentrationen den Gebietsmitteln aus gemessenen Nitratkonzentrationen in Grundwassermessstellen im Prämiengebiet gegenübergestellt. Als Datengrundlage dienten eine mittlere Grundwasserneubildung von 220 mm/a aus dem Modell mGROWA (FZ Jülich 2013), eine gemittelte nutzbare Feldkapazität von 155 mm aus der BK50 NRW sowie flächengewichtete jährliche Herbst-N_{min}-Gehalte. Es zeigt sich, dass die Größenordnungen der Kurven in allgemeiner Übereinstimmung zueinander stehen. Bis zum Jahr 2006 war die Diskrepanz jedoch wesentlich höher und erreichte bis zu 100 mg/l. Auch in den Jahren 2011 und 2015 waren die Abweichungen ähnlich hoch. Diese Schwankungen zeichnen sich kaum in den Gebietsmitteln ab. Einerseits liegt dies womöglich an den teilweise hohen Flurabständen und der daraus resultierenden relativ langen mittleren Sickerwasserweilzeit, die eine Durchmischung verschiedener Sickerwässer begünstigt. Andererseits können die Ergebnisse auch auf einen geringfügigen Nitratabbau in der ungesättigten Zone hinweisen.

Mit Hilfe der letzten Herbst-N_{min}-Daten und einer ungefähren mittleren Sickerwasserverweilzeit von acht Jahren kann die zukünftige Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser abgeschätzt werden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese sich weiterhin auf einem Niveau zwischen 100 und 150 mg/l bewegen werden.

7.2.9.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Im WSG Dülken/Boisheim herrschen flächendeckend hohe Nitratkonzentrationen. Der Medianwert zeitlich gemittelter Nitratkonzentrationen der Vorfeldmessstellen liegt bei ca. 120 mg/l. Seit 1994 besteht eine Kooperation zwischen Landwirten und den lokalen Wasserversorgern. Der flächendeckenden Belastung wird seit ca. 2004 mit Ausweisung des Prämienmodells im gesamten WSG konsequent entgegengewirkt. Auf Grundlage der vorliegenden Daten kann die Kooperation für den Zeitraum 1999 – 2017 bewertet werden.

Die Nitratentwicklung ist im Prämiengebiet als positiv zu bewerten, da gegenüber den Referenzmessstellen über 90% der GWM fallende Trends oder Tendenzen besitzen. Im Vergleich zur Evaluierung von IWW (2006), die einen Anteil mit signifikanten Trends von nur 30% ermittelten (15% fallend, 15% steigend), wurde in der vorliegenden Studie ein Anteil >90% festgestellt. Die mittlere Nitratabnahmerate von -3 mg/l pro Jahr belegt, dass sich die positive Entwicklung nicht nur durch statistische Signifikanz auszeichnet, sondern auch von relativ hohen Magnituden von -4 mg/l pro Jahr Nitratabnahme begleitet wird. Die Wirksamkeit der Maßnahme ist damit bezogen auf den Betrachtungszeitraum grundsätzlich festzustellen.

Die historisch zwar steigenden, jedoch seit etwa dem Jahr 2000 sinkenden Konzentrationen der Brunnen des WW Dülken zeigen ebenso wie die Vorfeldmessstellen einen Maßnahmenerfolg des Prämienmodells mit Abnahmeraten von ca. -3 mg/l pro Jahr an. Die Rohwässer des WW Boisheim verhalten sich allerdings anders, da sie seit den 90er Jahren stagnieren bzw. einen leichten, jedoch statistisch signifikanten Anstieg aufweisen. Aufgrund der Datenlage kann die genaue Ursache hier jedoch nicht untersucht werden, da sich im Anstrom des Wasserwerks nur eine Grundwassermessstelle befindet. Zudem sind die Herbst-N_{min}-Daten nicht georeferenziert, was keine räumlichen Aussagen ermöglicht.

Die Ganglinien der einzelnen GWM (s. Anhang 10.3.10) deuten jedoch an, dass sich das Gebiet seit etwa Mitte der 2000er Jahre auf einem stagnierenden Niveau befindet. Der Erfolg ist daher zeitlich differenziert zu betrachten. Die zuvor erzielte starke Verringerung der Nitratwerte im Grundwasser ist wahrscheinlich auf eine Abnahme der Herbst-Nmin Ende der 90er Jahre zurückzuführen. Aktuell (2014 bis 2016) liegt der Median der Nitratkonzentration mit 100 mg/l weiterhin hoch. Damit sind weitere Nitratverringerungen notwendig. In den letzten Jahren gab es jedoch keine Anzeichen für rückläufige Konzentrationsentwicklung.

Die Verringerung der Herbst-N_{min}-Gehalte wurde von einem Rückgang der sog. Problemkulturen um 10% (2006 – 2017) auf nunmehr 30% begleitet. Seit Mitte der 2000er Jahre stagnieren auch die Herbst-N_{min}-Werte. Aufgrund der starken Zusammenhänge zwischen Herbst-N_{min}-Werten und mittleren Nitratgehalten im Grundwasser sollten Lösungsansätze verfolgt werden, die auf eine weitere sukzessive Verringerung der Herbst-N_{min}-Gehalte abzielen. Die gegenwärtigen flächengewichteten Werte von 60 – 70 kg N/ha sind aus Sicht des Gewässerschutzes nicht tolerierbar. Unter Beibehaltung der vorherrschenden Verhältnisse sind zukünftig keine signifikanten Änderungen der Nitratgehalte im Grundwasser und damit auch keine Verbesserung der Bewirtschaftungssituation in den Brunnen zu erwarten. Dies bestätigt im Wesentlichen die Ergebnisse der DVGW (2013). Demnach ist die Bewirtschaftung der Brunnen 4, 5, und 6 der WGA Dülken nicht nachhaltig, da die Nitratabbauleistung erschöpft ist und den Nitrateintrag nicht kompensieren kann. Lediglich die Bewirtschaftung des Brunnens 7 wird aufgrund einer nur in langsamen Maß abnehmenden Abbauleistung als „derzeit nachhaltig“ angesehen.

Die intensive Vorsorge zur Verringerung der Nitrateinträge in den obersten Grundwasserleiter ist auch vor dem Hintergrund des Nitrateintrags in tiefer liegende Horizonte von Relevanz. Diese besitzen aufgrund ihres Nitratabbaupotentials noch weitestgehend geringe Nitratkonzentrationen. Allerdings ist der Nitratabbau an das Vorhandensein organischen Materials bzw. an Eisendisulfiden gebunden und damit begrenzt. Im ca. fünf Kilometer südwestlich befindlichen WSG Amern wurden hydrochemische Auswertungen hinsichtlich des Nitratabbaus im tiefen Grundwasserleiter durchgeführt mit dem Ergebnis sicherer Anzeichen für eine chemo-lithotrophe Nitratreduktion (Meyer et al., 2018). Das Abbaupotential wurde anhand N_2/Ar-Messungen und Push-Pull-Versuchen verifiziert und mit 10 bis 15 µg/kg/d bezogen auf die Trockenmasse des Gesteins quantifiziert (Greven et al., 2019). Die hohen Nitratkonzentrationen des oberen Grundwasserleiters sowie der vorhandene Nitratabbau im tiefen Grundwasserleiter sind wichtige zu beachtende Randbedingungen, da im Gebiet von Amern ebenfalls lokale hydraulische Verbindungen zwischen den GWL aufgrund geologischer Fenster bestehen.

7.2.10 Hastenrather Graben

Für die Analyse des Wasserschutzgebietes Hastenrather Graben stehen 15 Grundwassermessstellen, darunter eine LANUV-Messstelle, für die hydrochemische Analyse zur Verfügung. Die LANUV-Messstelle sowie zwei weitere GWM des Wasserversorgers werden als Referenzmessstellen verwendet, um die Konzentrationsentwicklungen innerhalb des Kooperationsgebietes mit den Verhältnissen außerhalb des Gebietes vergleichen zu können. Acht der verfügbaren Messstellen sind in größeren Teufen verfiltert. Die Filteroberkanten liegen hier tiefer als 15 m. Diese sind ausnahmslos im Festgestein ausgebaut. Die Brunnen sind im Festgestein ausgebaut, HB3, HB4 und HB6 im Kalkstein und HB5 im geklüfteten Tonstein. Mit Filterstrecken von bis zu 90 Metern erschließen Teufen von 20 bis 120 m.

Die Überdeckung der Grundwasserleiter ist meist lehmig ausgeprägt und kann Mächtigkeiten von wenigen Metern bis acht m erreichen. Aufgrund dessen liegen in der Regel hohe Sickerwasserverweil-

zeiten von > 10 Jahren vor (s. Anhang 10.2.10). Am westlichen Rand des Wasserschutzgebietes liegen siedlungsgeprägte Flächen, im zentralen Teil schließen sich Acker-, Grünland und Waldflächen an, während der westliche Teil des Gebietes von Ackerflächen dominiert wird. Für letzteres Teilgebiet liegen keine Daten von Messstellen vor.

7.2.10.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beschreibung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers standen PSM-Analysen von 50 Wirkstoffen und Metaboliten für den Zeitraum 1997 bis 2016 zur Verfügung. Es lagen 1922 Messwerte für Grundwassermessstellen vor, von denen 26 Werte die Bestimmungsgrenze überschritten. In nur einem Fall wurde mit 0,35 µg/l der Grenzwert von 0,1 µg/l (TrinkwV 2018) für den PSM-Einzelwirkstoff Terbutylazin im Jahr 2016 überschritten. Bei den 2769 Messwerten der Brunnen lagen 32 Befunde über der Bestimmungsgrenze. Der Grenzwert von 0,1 µg/l der TrinkwV (2018) wurde jedoch ausnahmslos eingehalten.

Des Weiteren sind Vollanalysen für den Zeitraum 2007 bis 2016 im halbjährlichen Intervall verfügbar. Die Konzentrationen der für das Nitratabbaupotential relevanten hydrochemischen Leitparameter betrugen ca. 27 mg/l für Chlorid, 140 mg/l für Sulfat, und 298 mg/l für Hydrogencarbonat. Aus der Analyse der Ganglinien gingen keine Anzeichen für einen vorhandenen Nitratabbau im Grundwasserleiter hervor. Aufgrund des lehmigen Aufbaus der Deckschichten ist jedoch denkbar, dass ein Abbaupotential in der ungesättigten Zone vorhanden ist. Dazu liegen jedoch keine Studien vor.

Die Nitratgehalte im Grundwasser zeigen eine deutliche Beeinflussung der oberflächennah verfilterten Grundwassermessstellen durch anthropogene Einträge (ahu 2014). Der Eintrag von Stickstoff infolge der landwirtschaftlichen Nutzung wird als wahrscheinlich angesehen, auch PSM wurden wiederholt in den Messstellen nachgewiesen. Durch Drainagen wird Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser in benachbarte oberirdische Fließgewässer (Omerbach) abgeleitet. Dies wirkt dem Eintrag in das tiefere, wasserwirtschaftlich genutzte Stockwerk entgegen, in dem aktuell die Nitratgehalte niedrig bzw. unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

In Abbildung 170 sind die Verteilungen der Nitratkonzentrationen aufgeführt. Das Maßnahmengebiet weist in der Regel Nitratgehalte < 50 mg/l auf. Eine Ausnahme bildet die Messstelle GW2 mit einer zeitlich gemittelten Konzentration von ca. 110 mg/l. Die tiefer ausgebauten Messstellen im Festgestein zeigen in der Regel Konzentrationen von < 1 mg/l. Lediglich die GWM G2, GW8 und G1 mit unterschiedlichen Filterausbauten in den Teufenbereichen 24 bis 70 m (Filterstrecken ca. 6 bis 10 m) zeigen Konzentrationen von je 2, 5 und 10 mg/l. Die Referenzmessstellen außerhalb des Kooperationsgebietes sind teilweise von städtischen (Messstellen G2 und 10301574) und landwirtschaftlichen Flächen umgeben (30267). Sie zeigen weite Spannen von 4 bis 75 mg/l. Die Brunnen waren im Untersuchungszeitraum weitestgehend nitratfrei. Im Vergleich zum Zeitraum 2014 bis 2016 (dunkelblau) zeigen sich keine Veränderungen der Mediane.

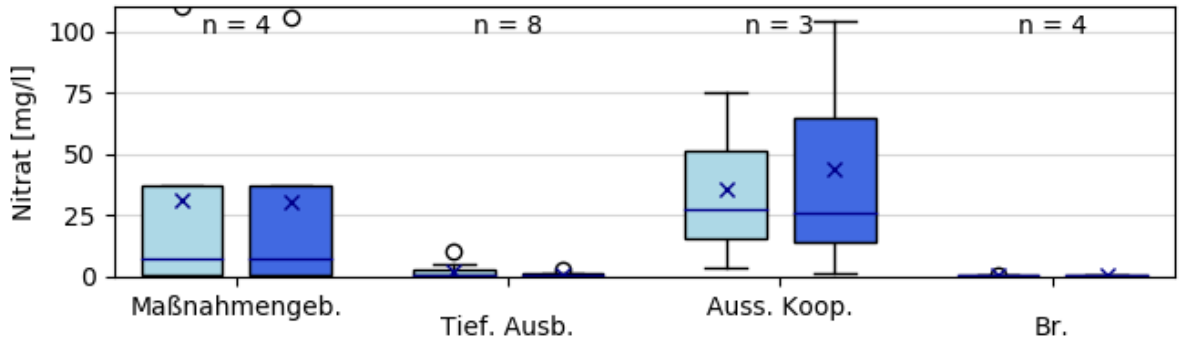


Abbildung 170: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Hastenrather Graben für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

7.2.10.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Nitratgehalte wurde eine Trendanalyse durchgeführt. Lediglich eine Messstelle hielt die Kriterien für die Trendberechnung nicht ein. Die Ergebnisse sind in Abbildung 171 und Abbildung 172 dargestellt. Die Messstellen, die dem Kooperations- bzw. Maßnahmengebiet zugeordnet wurden, zeigen bei geringen Konzentrationen keine Veränderungen (Steigung 0 und keine Signifikanz) und in den weiteren zwei Fällen Abnahmeraten von je -0,7 mg/l und -3,6 mg/l pro Jahr, die jeweils nicht signifikant bzw. eine fallende Tendenz (erweitertes Signifikanzniveau von 10%) aufweisen. Die Ganglinien dieser Messstellen zeigen enorme Schwankungen und Konzentrationsdifferenzen von bis zu 75 mg/l innerhalb eines Jahres.

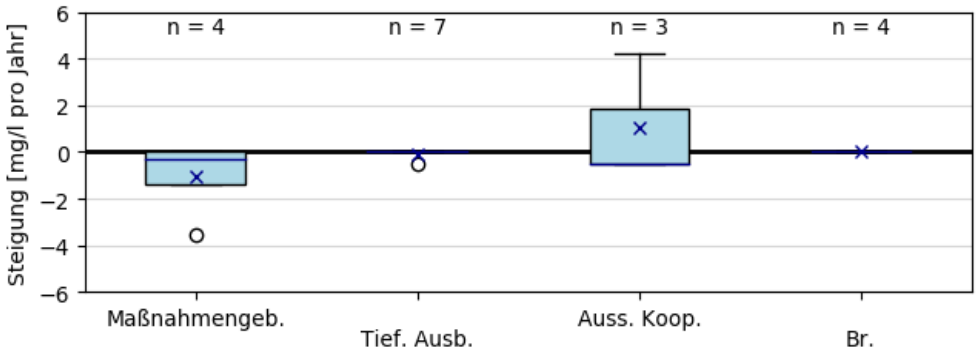


Abbildung 171: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Hastenrather Graben

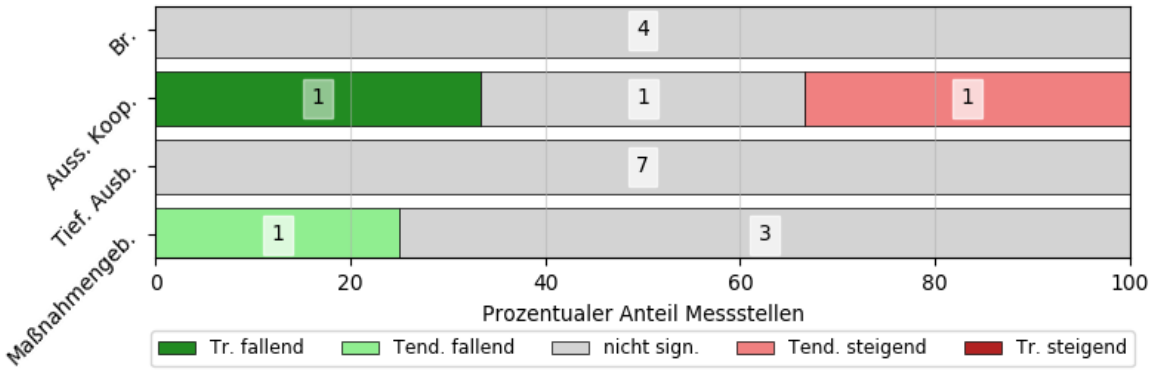


Abbildung 172: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Hastenrather Graben

Die tiefer ausgebauten Grundwassermessstellen besitzen keine Signifikanz bezüglich der Nitratentwicklungen. Der Median der Steigungsverteilung liegt bei 0. Auch die Brunnen weisen keinerlei Nitrattrends auf. Die sich außerhalb des Kooperationsgebietes befindlichen Messstellen zeigen unterschiedliche Entwicklungen. Die im Zustrom urban geprägte Messstelle T2 (mittlere Nitratkonzentration 75 mg/l) zeigt eine steigende Tendenz mit 4,2 mg/l pro Jahr. Die nordwestlich des Kooperationsgebietes liegende LANUV-Messstelle 10301574 zeigt hingegen einen fallenden Trend mit einer Abnahmerate von -0,5 mg/l pro Jahr. Die Messstelle 30267 mit landwirtschaftlicher Prägung im Zustrom befindet sich nordöstlich des Wasserschutzgebietes. Die Steigung liegt bei -0,5 mg/l pro Jahr, ist jedoch nicht signifikant.

7.2.10.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Kooperation im WSG Hastenrather Graben besteht seit 1993. Die Maßnahmen beinhalten u. a. die Düngeplanung und Grünlandpflege. Zudem wird die Ausbringung emissionsarmer Wirtschaftsdünger unterstützt und die Erweiterung der Güllelagerkapazität sowie der Anbau von Zwischenfrüchten

gefördert. Die räumlich variable Vulnerabilität des Kluft- und Karstgrundwasserleiters im Wasserschutzgebiet wird durch die Löss- und Lehmüberdeckung, die lokal mehrere Meter Mächtigkeit aufweist, bestimmt.

Die Auswertung konnte anhand von sieben flach ausgebauten Grundwassermessstellen erfolgen. Signifikante Nitratkonzentrationen wurden lediglich punktuell und nicht flächendeckend festgestellt. Die meisten Grundwassermessstellen sind nitratfrei oder besitzen zeitlich gemittelte Konzentrationen bis 40 mg/l. Hinsichtlich der Nitratkonzentrationen sind keine signifikanten Entwicklungen festzustellen. Im Analysezeitraum verharrt das System weitestgehend auf den Konzentrationsniveaus.

Die zwei am höchsten belasteten Grundwassermessstellen T2 (75 mg/l) und GW2 (110 mg/l) sind jeweils im Feinsand bzw. im Kohlenkalk in Teufen < 20 m ausgebaut. Die lokalen Belastungen sind womöglich auf die Lage am Rand des Kooperationsgebietes östlich von Hastenrath zurückzuführen und geben die lokale Eintragssituation wider. Die Dynamik des Kluft- und Karstsystems zeigt sich in den stark schwankenden Nitratganglinien.

Zwischen Messstellen innerhalb und außerhalb des Kooperationsgebietes ging kein deutlicher Unterschied in den Nitratentwicklungen hervor und ist aufgrund der kleinen Stichproben ohnehin problematisch. Der Großteil der Messstellen erschließt tiefere Bereiche im Festgestein und ist nitratfrei. Ein Eintrag aus hangenden Grundwasserstockwerken konnte nicht beobachtet werden. Auch einige flach ausgebaute Grundwassermessstellen innerhalb des Kooperationsgebietes (n = 2) zeigten sehr geringe Nitratkonzentrationen < 1 mg/l.

Eine umfassende Bewertung der Kooperationsmaßnahmen ist auf Grundlage der vorliegenden Daten und den daraus resultierenden Stichprobengrößen nicht möglich. Die Maßnahmen bilden jedoch einen wichtigen Bestandteil des vorsorgenden Grundwasserschutzes. Im Rahmen der Untersuchungen konnte grundsätzlich festgestellt werden, dass die Nitratentwicklung auf einem meist geringen Konzentrationsniveau stagniert und die tiefen Grundwasserstockwerke weiterhin nitratfrei sind. Dieser Zustand muss zur Sicherstellung der lokalen Wasserversorgung aufrechterhalten werden.

Um eine weitergehende und quantitative Effizienzkontrolle der Kooperationsmaßnahmen zu ermöglichen, wird ein Ausbau des Messnetzes empfohlen. Nördlich der Brunnen befindet sich ein signifikanter Anteil an Ackerflächen, der kaum aufgeschlossen ist (s. Anhang 10.2.10). Dieses Gebiet liegt zwar im Abstrom der Brunnen, bietet sich jedoch aufgrund der Ausdehnung der Ackerflächen für ein Monitoring hinsichtlich der Kooperationsmaßnahmen gut an.

7.2.11 Eicks-Mehlenbach

Im WSG Eicks-Mehlenbach stehen 18 Grundwassermessstellen mit Vollanalysen von 1992 bis 2016 bzw. teilweise 2017 im jährlichen bis monatlichen Messintervall zur Verfügung, darunter drei LANUV-Messstellen als Referenz außerhalb des Kooperationsgebietes. Der Untersuchungszeitraum wurde auf Grundlage des Kooperationsbeginns auf 1996 bis 2016 bzw. 2017 beschränkt. Darüber hinaus sind Daten zu den zwei Tiefbrunnen und den Mehlenbachquellen vorhanden mit Ausnahme der Quellen 4 und 5, die lediglich Daten bis 2008 aufweisen.

Im Untersuchungsgebiet ist die Grundwasserfließrichtung des oberen Grundwasserleiters nach Osten bzw. Nordosten gerichtet (s. Anhang 10.2.11). Auf Grundlage eines Schichtenverzeichnisses (verwitterter Buntsandstein, tonig, schluffig) konnte punktuell eine Sickerwasserverweilzeit von mehr als 10 Jahren berechnet werden. Eine flächendeckende Ausweisung der Verweilzeiten in der ungesättigten Zone (Sickerwasser) war nicht möglich. Treskatis (1993) gibt für den Grundwasserleiter des oberen Buntsandsteins im Mehlenbachtal eine mittlere Verweilzeit von 10 Jahren an. Aufgrund der dualen Porosität des Grundwasserleiters (s. Kap. 4.5.10) wurde auf die Ausweisung von Zustromgebieten verzichtet, da diese das komplexe hydrogeologische System in einfachen geometrischen Formen nicht wiedergeben können.

7.2.11.1 Grundwasserbeschaffenheit

Die Beschaffenheit des oberen Grundwasserleiters wird auf Grundlage von PSM-Analysen und Nitratwerten analysiert. Im Hinblick auf PSM wurden alle verfügbaren Daten zu 34 PSM-Wirkstoffen und Metaboliten ab Ende der 80er bis 2016 geprüft. In den Grundwassermessstellen konnten unter 984

Messwerten zwei Befunde festgestellt werden, die den Grenzwert der TrinkwV (2018) von 0,1 µg/l überschritten. Es handelte sich um den Wirkstoff Bentazon mit jeweiligen Konzentrationen von 2,3 µg/l im Jahr 2010 und 0,22 µg/l in 2011 in der Messstelle 40097, die südöstlich in ca. 500 m Entfernung vom WSG liegt.

Bei den Quellen und Brunnen lagen hingegen alle 3637 verfügbaren Messwerte zu den 34 betrachteten PSM unter dem Grenzwert von 0,1 µg/l. In den Jahren 1995 bis 1998 wurden vier einzelne Befunde der Wirkstoffe Metazachlor (0,06 µg/l), Methabenzthiazuron (0,05 µg/l), Monuron (0,08 µg/l) und Simazin (0,05 µg/l) in den Mehlenbachquellen festgestellt. Seit ca. 20 Jahren gibt es in den Quellen also keine PSM-Befunde aus dem Untersuchungsspektrum mit Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze. Lediglich im Jahr 2013 wurde Bifenox mit 0,05 µg/l, was der BG entspricht, in einer Quelle nachgewiesen.

Die Nitratkonzentrationsverteilung im Gebiet wird in Bezug auf die Aufschlussart, die Lage der Messstellen (innerhalb oder außerhalb des Kooperationsgebietes) und den erschlossenen Horizont (SM: mittlerer Buntsandstein im Liegenden) in Abbildung 173 dargelegt. Von den oberflächennah ausgebauten Messstellen, die den oberen Buntsandstein aufschließen, konnten zwei GWM (Mst.-Nr. 40081 und 40680) identifiziert werden, die aufgrund ihrer Lage der Wirkung der Kooperationsmaßnahmen (zusammengefasst als „Maßnahmengebiet“) unmittelbar ausgesetzt sind. Die zeitlich gemittelten Nitratgehalte liegen bei jeweils ca. 4 und 26 mg/l. Fünf am Rand gelegene Grundwassermessstellen mit einem qualitativ beurteilten Zustrom, der partiell im Kooperationsgebiet liegt, zeigen eine Spannweite von nitratfreien Verhältnissen bis 85 mg/l (Median: 50 mg/l). Messstellen, die den mittleren Buntsandstein im Liegenden aufschließen, sind nitratfrei. Die für den aktuellen Zeitraum 2014 bis 2016 gemittelten Konzentrationen zeigen keine großen Abweichungen zu den für den gesamten Untersuchungszeitraum gemittelten Werten.

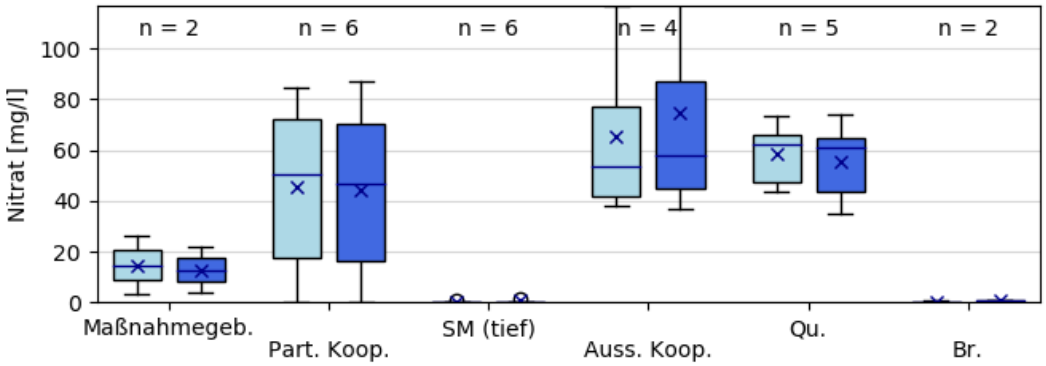


Abbildung 173: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Eicks-Mehlenbach für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

Vier Referenzmessstellen, davon drei des LANUV und eine des Wasserversorgers, zeigen die Nitratkonzentrationen im Umfeld des Wasserschutzgebietes. Diese liegen bei ca. 38 bis nahezu 120 mg/l und damit deutlich über den Konzentrationen im Wasserschutzgebiet, jedoch vergleichbar mit den Gehalten in den GWM, die sich am Rand des Wasserschutzgebietes befinden.

Die Mehlenbachquellen (oberer Buntsandstein) weisen zeitlich gemittelte Konzentrationen von 40 bis 75 mg/l Nitrat auf und sind damit teilweise relativ stark belastet. Die Messwerte aus dem Jahr 2017 belegen mit 35 bis 75 mg/l (s. Ganglinien in Anhang 10.3.11, Abbildung A 10.3.11 – 3), dass das Problem weiterhin aktuell ist. Die Brunnen im mittleren Buntsandstein sind nitratfrei.

7.2.11.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Die Kriterien für die Trendanalyse wurden von allen ausgewählten Grundwassermessstellen, Quellen und Brunnen eingehalten. Die statistischen Übersichten in Abbildung 174 und Abbildung 175 zeigen die Trends und deren Signifikanz.

Die Messstellen im Maßnahmengebiet zeigen zwar beide signifikant fallende und steigende Trends, jedoch sind die Steigungsbeträge unerheblich (s. Abbildung 174). Die Nitratkonzentration in der Messstelle 40081 ist in 20 Jahren von ca. 2,5 auf 4 mg/l angestiegen. Die Monotonie der Steigung erklärt die statistische Signifikanz (s. Abbildung A 10.3.11 – 1 im Anhang). Hydrochemisch ist der Anstieg und das Konzentrationsniveau jedoch wenig relevant. Die Messstellen am Rand des WSG zeigen ebenfalls keine nennenswerten Steigungsbeträge mit zwei Ausnahmen von jeweils ca. 1 mg/l und -1 mg/l pro Jahr. Lediglich in einem Fall sind die Entwicklungen signifikant (Messstelle 40879).

Die Referenzmessstellen sind Messstellen, die sich außerhalb des Kooperationsgebietes befinden und als Vergleich zum Aufzeigen möglicher Erfolge der Kooperationsmaßnahmen dienen. Sie zeigen stagnierende bis steigende Nitratentwicklungen mit Zunahmeraten bis 1,5 mg/l pro Jahr. In zwei von vier Fällen sind die Nitratzunahmen statistisch signifikant.

Die Mehlenbachquellen zeigen unterschiedliche Konzentrationsverläufe (s. Anhang 10.3.11), die sich in der Trendanalyse bemerkbar machen. Die meisten Quellen stagnieren seit den 1990er Jahren auf ihrem Konzentrationsniveau, während in zwei Fällen abnehmende Tendenzen (Signifikanzniveau 10%) zu beobachten sind. Dabei handelt es sich um die Quellen 2A und 2B. Anhand der Ganglinien in Abbildung A 10.3.11 – 3 (Anhang) ist zu erkennen, dass die Abnahme Anfang der 2000er Jahre einsetzte, womöglich als Reaktion auf die 1996 begonnene Kooperation. Die Quellen 1D und 2C stagnieren (keine Signifikanz) und Quelle 2D steigt signifikant mit einer Nitratzunahme im Zeitraum 1996 bis 2007 und einer folgenden Stagnation.

Die Trägheit des Wasserschutzgebietes bestätigt sich anhand der Ganglinien in Anhang 10.3.11. Unabhängig vom Konzentrationsniveau stagnieren die Nitratwerte in der Regel. Auffällig ist der Konzentrationsverlauf der GWM 40097 (s. Abbildung A 10.3.11 – 2) mit einer stark ausgeprägten Nitratdynamik. Häufig liegen die Werte bei ca. 10 mg/l, jedoch ergeben sich Konzentrationsspitzen von bis zu 200 mg/l innerhalb eines Jahres. Möglicherweise handelt es sich hier um ein Zusammenspiel zwischen der N-Dynamik auf Ackerflächen außerhalb des Kooperationsgebietes und einen schnellen Stofftransport durch Klüfte, der einen abrupten Anstieg und wieder Abklingen der Konzentrationen ermöglicht.

In Abbildung 176 sind die Verteilungen der Steigungen bezogen auf die Konzentrationsklassen (links) und die Lage (rechts) aufgetragen. Insgesamt spiegelt sich erneut die geringe Nitratdynamik des Systems wider, da überwiegend Steigungsbeträge von <0,5 mg/l pro Jahr auftreten.

Im Hinblick auf die Konzentrationsklassen deutet sich an, dass Messstellen mit geringer Konzentrationsklasse eher fallende bzw. stagnierende Entwicklungen aufweisen, während Messstellen mit hohen Konzentrationen > 50 mg/l eher steigende Nitratkonzentrationen besitzen. Die Messstellen mit steigenden Nitratwerten und höheren Magnituden (0,5 bis 2,5 mg/l pro Jahr) verteilen sich auf Messstellen, deren Zustromgebiet außerhalb (Referenzmessstellen) nur partiell im Prämienmodell liegt.

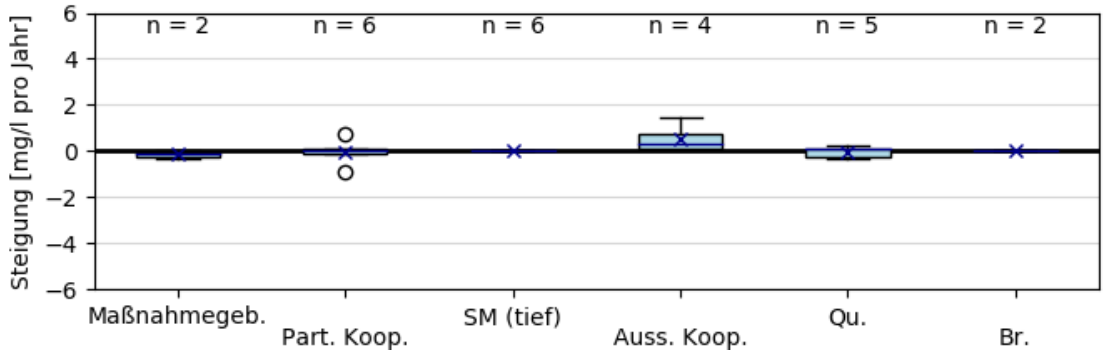


Abbildung 174: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Eicks-Mehlenbach (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz)

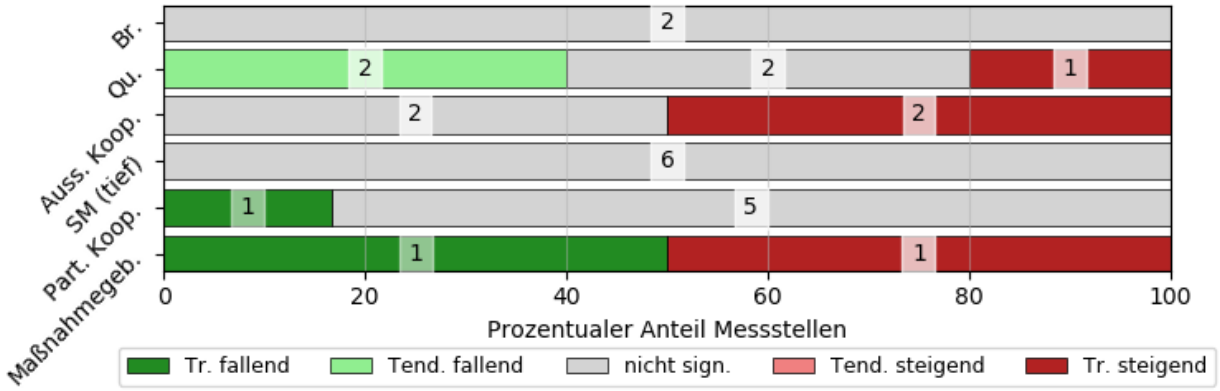


Abbildung 175: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Eicks-Mehlenbach

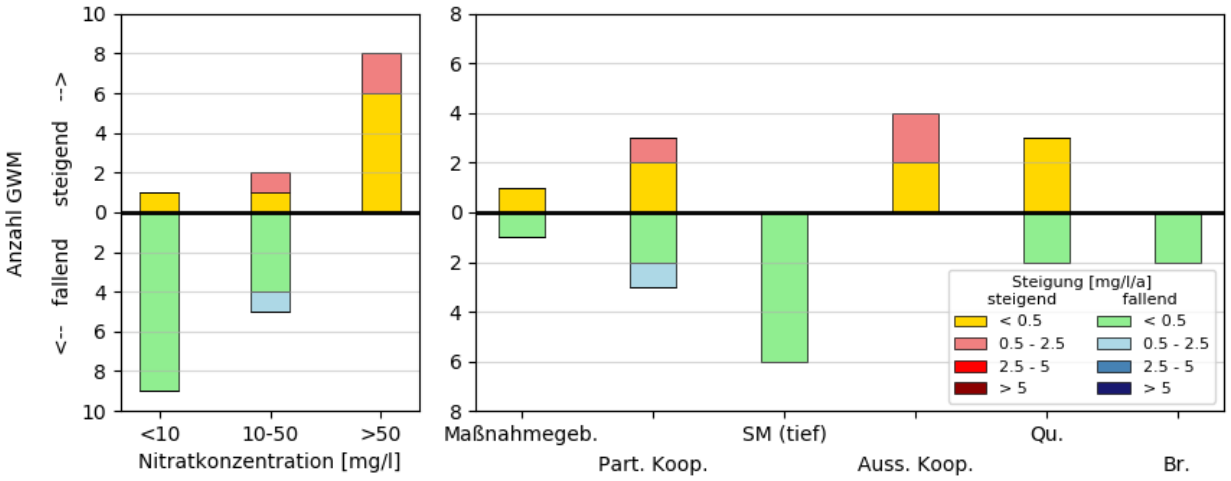


Abbildung 176: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) im WSG Eicks-Mehlenbach

7.2.11.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Der Untersuchungszeitraum der Kooperation Eicks-Mehlenbach bezieht sich auf den Beginn im Jahr 1996 bis 2017. Das Gebiet zeichnet sich durch geringe (< 10 mg/l) bis moderate (10 bis 50 mg/l) Nitratgehalte in den Vorfeldmessstellen und einem moderaten bis hohen Konzentrationsniveau (> 50 mg/l) in den Mehlenbachquellen aus. Außerhalb des Wasserschutzgebietes werden meist höhere Konzentrationen bis zu 120 mg/l vorgefunden.

Prinzipiell fand seit Kooperationsbeginn keine signifikante Veränderung der geringen bis moderaten Nitratgehalte statt. Vor dem Hintergrund steigender Nitratentwicklungen in den Referenzmessstellen außerhalb des Kooperationsgebietes ist dies als positiver Hinweis für eine Wirksamkeit der Kooperationsmaßnahmen zu werten. Die Düngeberatung im weiten Umfeld sowie Extensivierung und Verzicht auf Düngung auf Grundlage des „100-Morgen-Programmes“ im nahen Umfeld der Quellen, führten offenbar zur Stabilisierung der Nitratverhältnisse innerhalb des Kooperationsgebietes. Die sich am Rand des Wasserschutzgebietes befindlichen Grundwassermessstellen sind ebenfalls höher belastet als die Messstellen innerhalb des WSG. Möglicherweise unterliegen sie beiderseits dem Einfluss landwirtschaftlicher Flächen innerhalb und außerhalb des Kooperationsgebietes mit jeweils geringen und höheren Nitrateinträgen.

In den Mehlenbachquellen konnten nicht ausschließlich positive Entwicklungen identifiziert werden. Die Quellen haben auf den Beginn der Kooperationsmaßnahmen mit einer Stagnation bzw. leicht abnehmenden Nitratwerten Anfang der 2000er Jahre reagiert. Dies führte dazu, dass in zwei Quellen

die Nitratwerte mittlerweile bei 35 bis 45 mg/l liegen. Die übrigen drei Quellen übersteigen jedoch weiterhin Konzentrationen von 50 mg/l und zeigen keine Neigung zu fallenden Nitratwerten. Eine Abnahme der Werte zeichnet sich auf Grundlage der vorliegenden Ganglinien nicht ab.

Vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Nitratverteilungen innerhalb und außerhalb des Wasserschutzgebietes und der hydrogeologischen Situation (Kluftgrundwasserleiter, duale Porositäten) ist denkbar, dass der Kooperationserfolg schlicht durch die Geometrie und geringe Ausdehnung des Wasserschutzgebietes an sich limitiert ist. Es ist zu vermuten, dass durch die Klüfte effektive Wegsamkeiten für den advektiven Stofftransport gegeben sind, wodurch die landwirtschaftlichen Flächen außerhalb des Kooperationsgebietes mit ihrem höherem Nitrateintragspotential einen signifikanten Einfluss auf die Nitratkonzentrationen im Kooperationsgebiet haben. Für eine Ausdehnung der Kooperation über das WSG hinaus gibt es jedoch keine rechtliche Grundlage.

Hinsichtlich der PSM-Befunde und -Konzentrationen wurde ausgeführt, dass es in der Historie der PSM-Analysen im Wasserschutzgebiet und im angrenzenden Umfeld nur vereinzelt grenzwertüberschreitende Befunde (Bentazon in der GWM 40097 in 2010 und 2011) gab. In den Mehlenbachquellen wurden bisher keine Grenzwertüberschreitungen und nur eine geringe Anzahl an Befunden mit Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze festgestellt. Womöglich ist dies das Ergebnis einer erfolgreichen Beratung bezüglich der Anwendung von PSM und dem 100-Morgen-Programm (keine Anwendung von PSM auf bestimmten Flächen). Neben den Beratungsleistungen und dem 100-Morgen-Programm wird im WSG die mechanische Bekämpfung von Jakobskraut gefördert. Das Eintragspotential des dadurch ersetzten PSM-Produktes Simplex mit 30 g/l Aminopyralid und 100 g/l Fluroxypyr sollte sich dadurch verringern. Der Erfolg kann auf der bestehenden Datengrundlage jedoch nicht beurteilt werden, da den Gutachtern keine Daten zu den o. g. Wirkstoffen vorliegen.

Insgesamt ist die Aussagekraft der obigen Auswertungen durch die geringe Anzahl an Grundwassermessstellen (n = 2), die im oberen Buntsandstein verfiltert sind und zweifelsfrei den Maßnahmen- oder Beratungsflächen der Kooperation zugeordnet werden können, begrenzt. Aus diesem Grund sollte eine Verdichtung des Messnetzes zur Optimierung der Kooperationsleistung geprüft werden.

7.2.12 Weiler

Von der RheinEnergie AG wurden zu 13 landwirtschaftlich beeinflussten Vorfeldmessstellen im linksrheinischen WSG Weiler (s. Abbildung 177) aus dem Zeitraum von Januar 1990 bis Mitte 2004 monatliche und danach bis Januar 2019 zweimonatliche Mittelwerte zu Nitrat übergeben (s. Abbildung 178). Die Karte zeigt, dass vier der Messstellen brunnenfern in der Zone III B liegen, während die übrigen neun Messstellen brunnennäher in der Zone III a bzw. II befindlich sind.

Der Ausbau der Vorfeldmessstellen befindet sich im wasserwirtschaftliche genutzten oberen Grundwasserstockwerk in etwa 20 bis 30 Meter Tiefe. Es handelt sich um sehr ergiebige Schotterterrassensedimente des Rheins mit keiner oder nur einer sehr eingeschränkten natürlichen Denitrifikation. Die Messstellen liegen im überwiegend landwirtschaftlich genutzten Bereich im Zustromgebiet zu den Betriebsbrunnen und sind durch die brunnennahe Infiltration von Rheinwasser nicht oder nur gering beeinflusst.

Die mittleren Nitratkonzentrationen lagen bis Anfang der 2000er-Jahre oberhalb von 50 mg/L und dokumentieren damit den landwirtschaftlichen Einfluss sehr deutlich. Seit etwa der Mitte der 1990er-Jahre ist ein schwach fallender Trend erkennbar, der aber seit nunmehr etwa 15 Jahren abgeklungen ist. Seitdem schwanken die Mittelwerte zumeist um die 50 mg/l, dem Grenzwert der TrinkwV (2018). Insgesamt ist in den 29 mit Messwerten dokumentierten Jahren ein sehr moderater Rückgang der Nitratwerte um etwa 10 mg/l erkennbar, der seine Ursachen in Kooperationsmaßnahmen haben könnte. Das ist aber im Rahmen der Studie nicht validierbar, da die Nitratkonzentrationen nur als Mittelwerte für alle 13 Brunnen und nicht messstellenscharf vorlagen. Sie mussten daher als nicht geeignet für die zentrale Zielstellung der Studie – die Bewertung örtlich lokalisierbarer Maßnahmen zum Grundwasserschutz – von der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden.

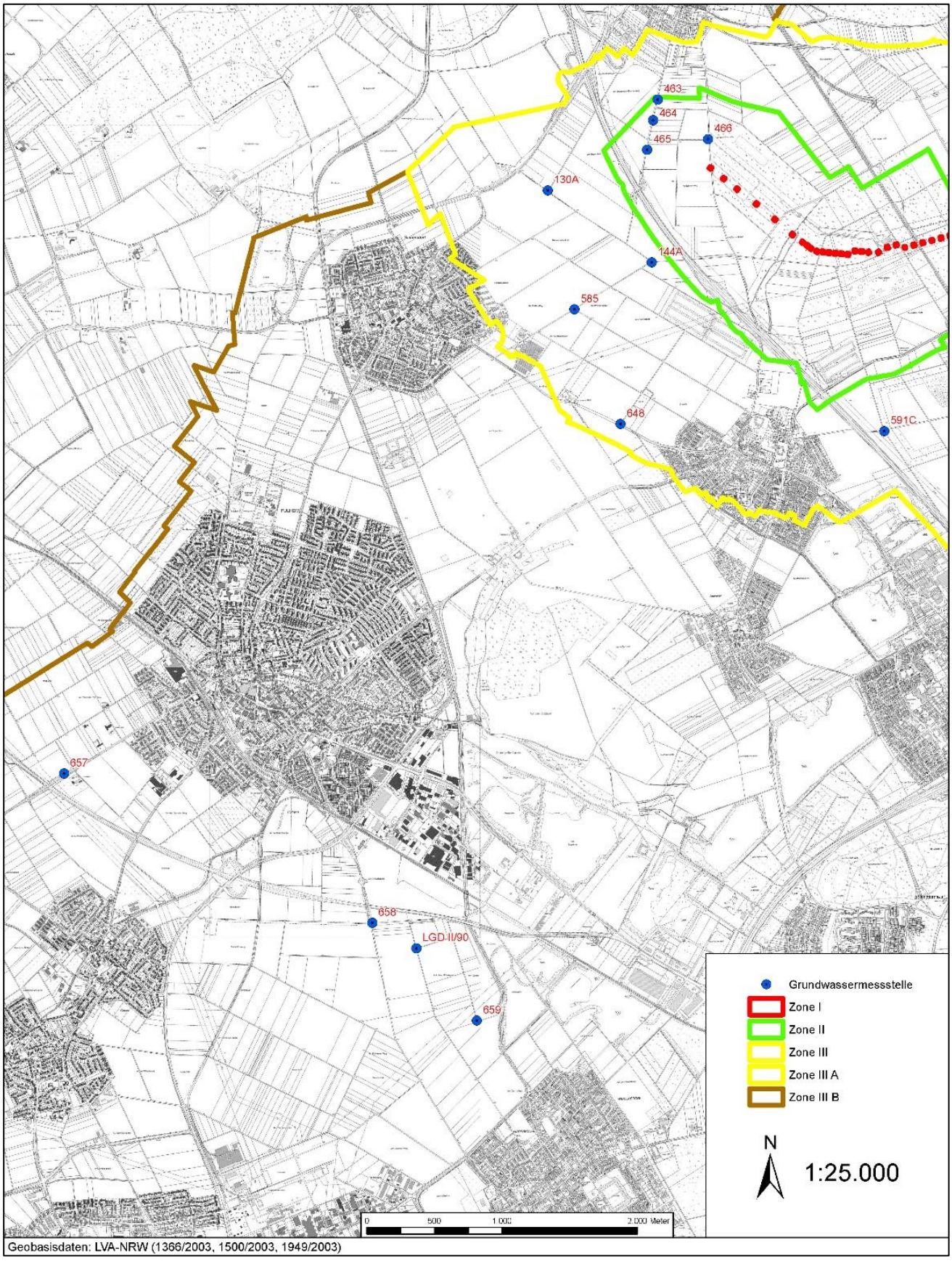


Abbildung 177: Lage von 13 landwirtschaftlich beeinflussten Vorfeldmessstellen der Rhein-Energie AG im WSG Weiler

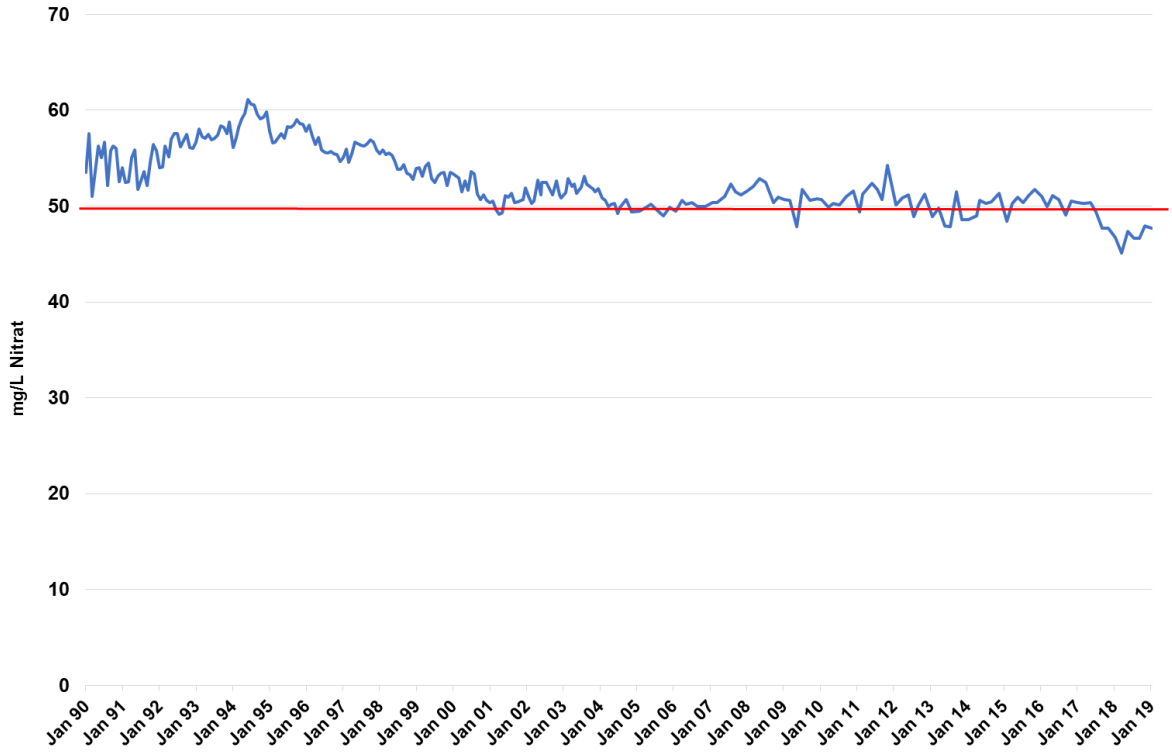


Abbildung 178: Zeitliche Entwicklung der mittleren Nitratgehalte an 13 landwirtschaftlich beeinflussten Vorfeldmessstellen der RheinEnergie AG im WSG Weiler

7.2.13 Zündorf

Aus dem rechtsrheinischen WSG Zündorf wurden von der RheinEnergie AG ebenfalls mittlere Nitratkonzentrationen zu 13 Vorfeldmessstellen übergeben, Abbildung 179 zeigt dazu die Karte mit der Lage der landwirtschaftlich beeinflussten Messstellen. Vier der 13 Messstellen liegen in der Zone III B, die übrigen neun brunnennäher in der Zone III A bzw. II. Eine Infiltration von Rheinwasser existiert hier nicht.

Wie im WSG Weiler sind die Messstellen im gut durchlässigen, wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiter der Rheinschottersedimente in etwa 20 Meter Tiefe ausgebaut, es handelt sich zumeist um Grobsande und Kiese. Abbildung 180 dokumentiert dazu eine flächenhafte Übersicht im Ergebnis einer Grundwassermodellierung. Im Bereich der Brunnen sind Werte von > $1*10^{-3}$ m/s erkennbar, also Fein- und Mittelkiese. Auch im unterirdischen Einzugsgebiet der Wasserfassung mit den Vorfeldmessstellen sind diese Werte erkennbar

Abbildung 181 die zeitliche Entwicklung der Mittelwerte der 13 Messstellen von August 2004 bis Januar 2019. Sie liegen mit Konzentrationen zwischen 20 mg/l und 30 mg/l deutlich niedriger im Vergleich zum WSG Weiler. Auch hier ist in den 15 Jahren ein moderater Rückgang der Konzentrationen um etwa 7 mg/l erkennbar, der mit der Kooperationstätigkeit im Zusammenhang stehen könnte. Aus den gleichen Gründen wie im WSG Weiler konnte dies aber nicht mit dem notwendigen Detaillierungsgrad geprüft werden. Ohne Ortsbezug der Nitratwerte und der daraus resultierenden Möglichkeit einer Korrelation mit einer landwirtschaftlichen Maßnahme ist eine Evaluierung nicht möglich.

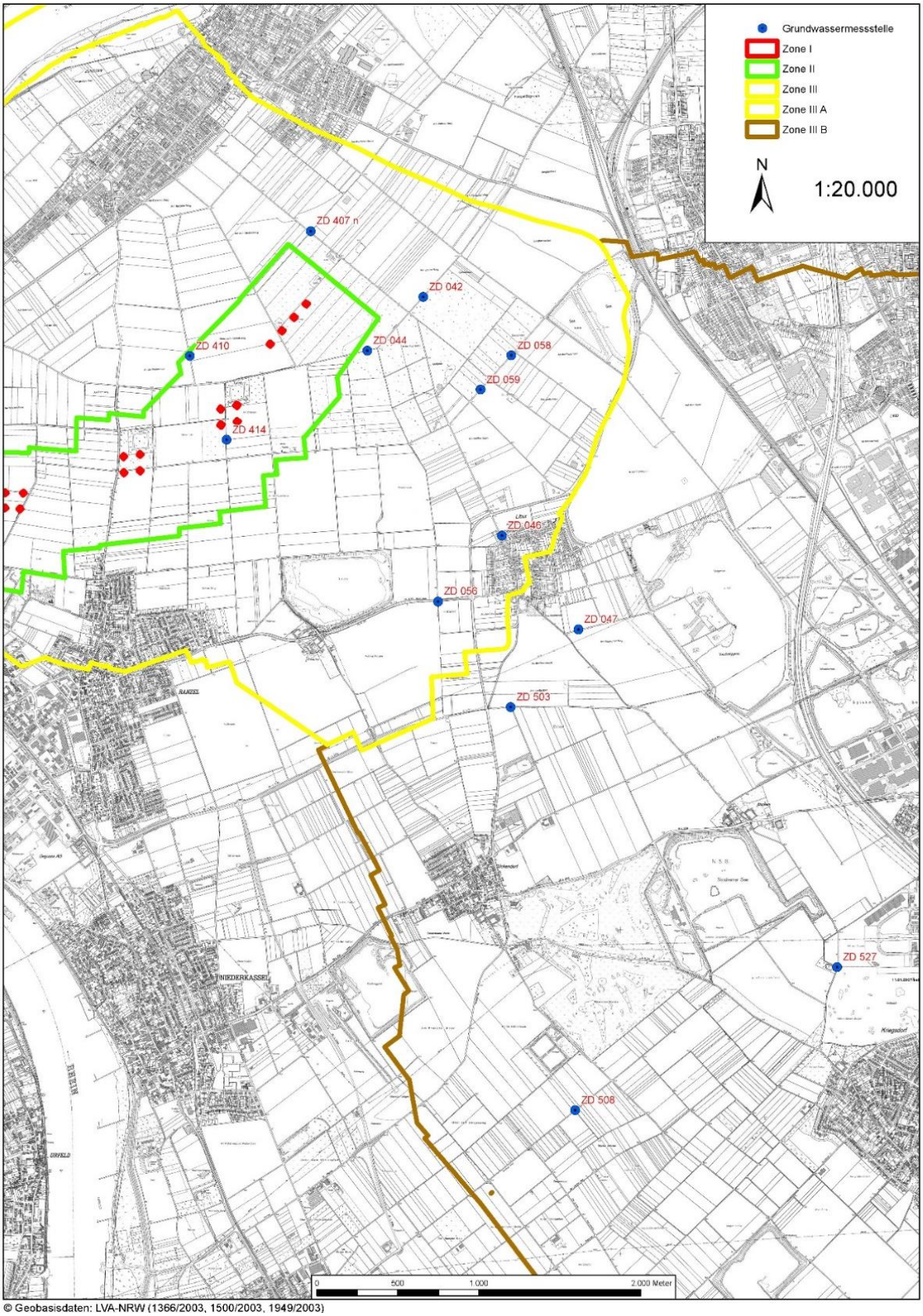


Abbildung 179: Lage von 13 landwirtschaftlich beeinflussten Vorfeldmessstellen der RheinEnergie AG im WSG Zündorf

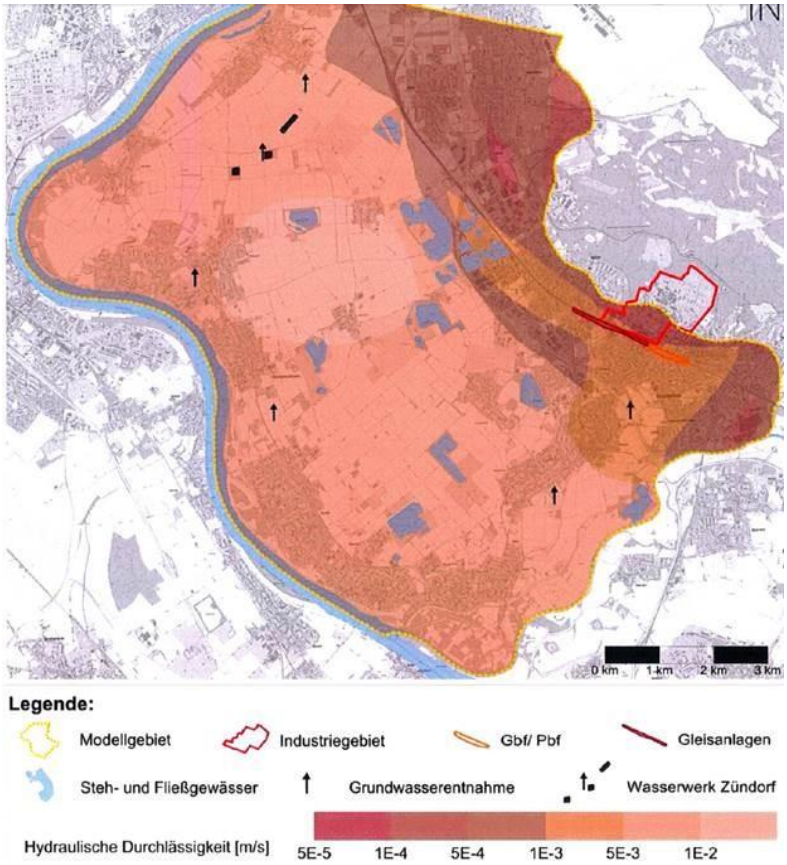


Abbildung 180: Geohydraulische Durchlässigkeit des wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiters im WSG Zündorf

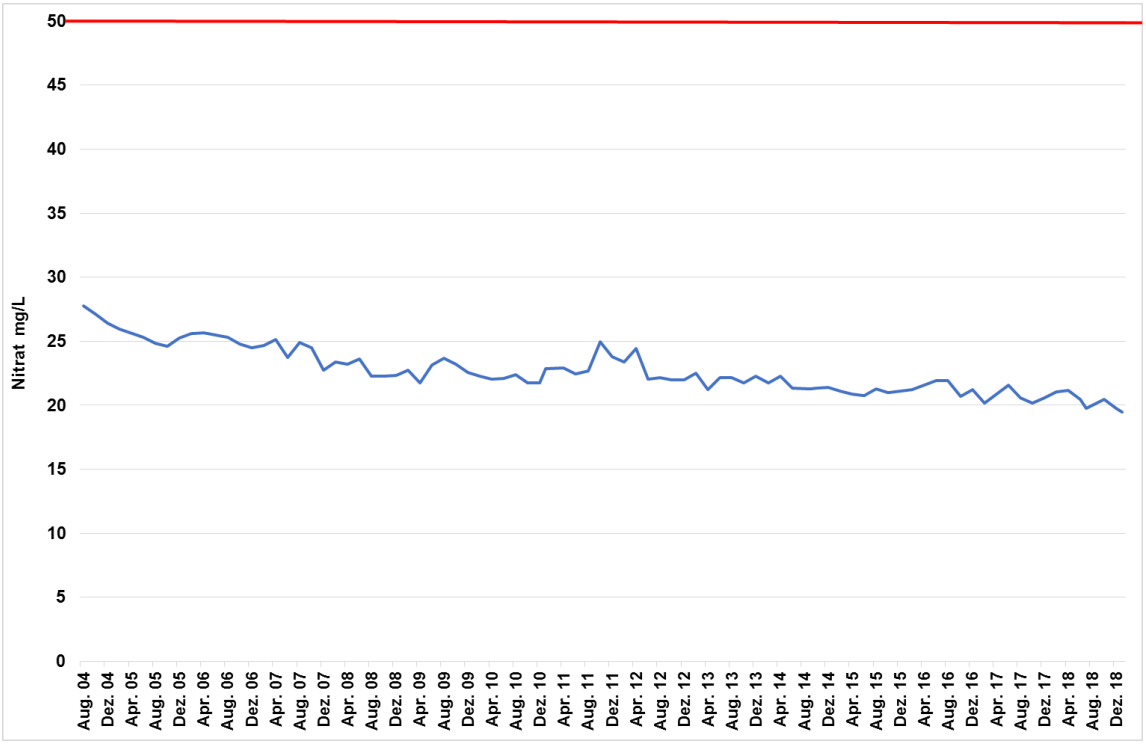


Abbildung 181: Zeitliche Entwicklung der mittleren Nitratgehalte an landwirtschaftlich beeinflussten 13 Vorfeldmessstellen der Rheinenergie AG im WSG Zündorf

7.2.14 Meindorf

Im WSG Meindorf/Untere Sieg und dessen Umfeld sind 39 Grundwassermessstellen, sieben LANUV-Messstellen und Daten der drei Horizontalfilterbrunnen für die Analyse verfügbar. Da das WSG durch sehr hohe Anteile von Siedlungsflächen geprägt ist, ist die Landnutzungszuordnung der Messstellen anhand ihrer Zustromgebiete von besonderer Relevanz und muss bei der Bewertung berücksichtigt werden.

7.2.14.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beschreibung der Beschaffenheit des oberen Grundwasserleiters liegen Vollanalysen und PSM-Analysen vor. Im Zeitraum 2002 bis 2016 wurden in drei Vorfeldmessstellen (De012, Ed008 und Ee005) in 15 Fällen Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich einzelner PSM-Wirkstoffe und deren Metaboliten gemäß TrinkwV (2018) festgestellt. Bei den betroffenen Stoffen handelte es sich u. a. mehrfach um Atrazin und dessen Metaboliten Desethyl-Atrazin mit Maximalkonzentrationen von je 0,18 µg/l und 0,14 µg/l mit den letzten Überschreitungen 2011. Seit 1991 gilt in Deutschland ein Anwendungsverbot für Atrazin (BVL 2009). Einmalige Grenzwertüberschreitungen wurden bei den Wirkstoffen Bromacil mit 0,165 µg/l im Jahr 2011 und Prometryn mit 0,15 µg/l 2009 festgestellt. Bromacil war bis 1990 zugelassen und Prometryn lediglich bis 1976 (BVL 2009). Zwischen 2011 und 2016 gab es in den Vorfeldmessstellen keine Überschreitungen des Grenzwertes der TrinkwV (2018). Die Brunnen wiesen im Zeitraum 2002 bis 2016 keine Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich PSM-Wirkstoffen oder –Metaboliten auf.

Die Analytik der Hauptinhaltsstoffe liegt je nach Grundwassermessstelle für die Zeiträume 1996 bis 2016 in jährlichem bis monatlichen Intervall vor, teilweise beginnen die Messungen bereits im Jahr 1986. Der Untersuchungszeitraum wurde jedoch dem Kooperationsbeginn im Jahr 1989 gegebenenfalls angepasst. Der obere Grundwasserleiter besitzt mittlere Chloridkonzentrationen von ca. 36 mg/l (max. Einzelwert 102 mg/l). Sulfat liegt im Mittel bei ca. 43 mg/l mit einem maximal gemessenen Wert von ca. 450 mg/l. Die Gehalte an Hydrogencarbonat erreichen durchschnittlich 148 mg/l (einzelner Messwert max. 452 mg/l).

Die Kooperation im WSG Meindorf / Untere Sieg zeichnet sich durch ein flächendeckendes umfangreiches Beratungs- und Maßnahmenkonzept aus. Da es jedoch stark durch Siedlungen geprägt ist, ist in diesem Fall für die Analyse eine Kategorisierung der Zustromgebiete hinsichtlich der dominierenden Landnutzung zielführend. Damit können zwar Einflüsse aus den Siedlungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dennoch wird die dominierende Landnutzung mit dieser Vorgehensweise erfasst und damit die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht. Zusätzlich wurden die sechs sich zwischen Siegufer und Brunnen befindlichen Messstellen als gesonderte Kategorie „Uferfiltrat“ ausgewiesen. Die Zuordnung der Messstellen ist in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Übersicht der Zuordnungen von Zustromgebieten der Grundwassermessstellen in Meindorf zu Landnutzungen und sonstigen Einflussfaktoren

Acker	Grünland	Siedlung	Div. Landnutzung	Uferfiltrat
Cf004	Ed001	Df005	Df004	Bf002
Cf010	Ee011	Df011	Df008	Ce007
De006		Dg004	Ed014	Ce010
Ef004		Ed004	Ee007	Dd001
Gc006		Hd006	Fb003	Dd006
		He002	Fd017	De004
		Id002	Fe003	
		Id004	Gc002	
		Jc003	Gd001	
			Ge001	

Insgesamt ist eine mäßiges Konzentrationsniveau ohne signifikante Streuung der Mediane festzustellen (s. Abbildung 182). Diese bewegen sich zwischen 20 und 40 mg/l. Innerhalb der Nutzungskategorien sind die Streuungen in der Regel ebenfalls gering. Eine Ausnahme bilden die siedlungsgeprägten Zustromgebiete mit einer Spannweite von 15 bis 80 mg/l. Stark erhöhte Nitratkonzentrationen von >50 mg/l treten unspezifisch von der Landnutzung in der Regel nordwestlich und südlich der Förderbrunnen auf (s. Anhang 10.2.12). Für aktuellen Zeitraum 2014 bis 2016 (s. Abbildung 182, blaue Boxplots) ergeben sich geringfügig niedrigere Nitratkonzentrationen hinsichtlich der Mediane.

Außerhalb des Kooperationsgebietes liegende Zustromgebiete von Grundwassermessstellen zeigen im Vergleich geringe Nitratgehalte mit Spannweiten von 10 bis 40 mg/l. Die Landnutzung in den Zustromgebieten dieser Referenzmessstellen ist stark siedlungsgeprägt.

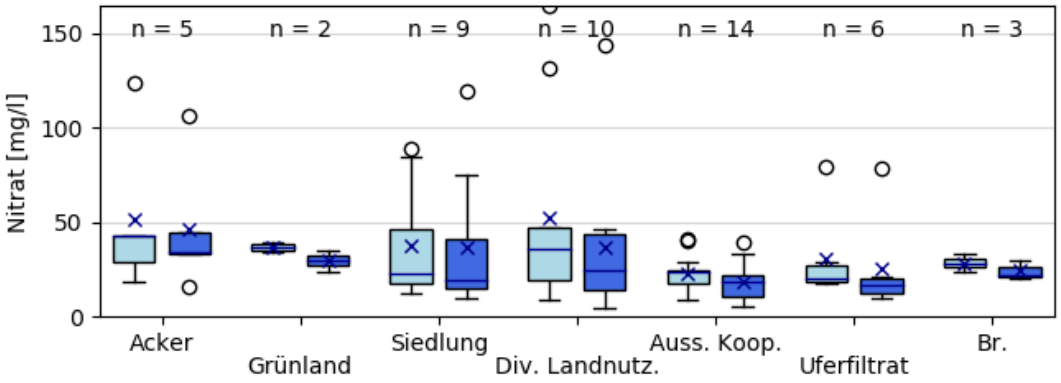


Abbildung 182: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Meindorf / Untere Sieg für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

Die Horizontalfilterbrunnen zeigen eine mittlere Konzentrationsspanne von ca. 25 bis 35 mg/l. Sie befinden sich in etwa 500 m Entfernung vom Siegufer mit einem entsprechenden Anteil Uferfiltrat. Die Nitratkonzentrationen der Sieg lagen seit dem Jahr 2000 bei maximal 18 mg/l mit abnehmendem Charakter, so dass im Jahr 2017 ca. 10 mg/l erreicht wurden.

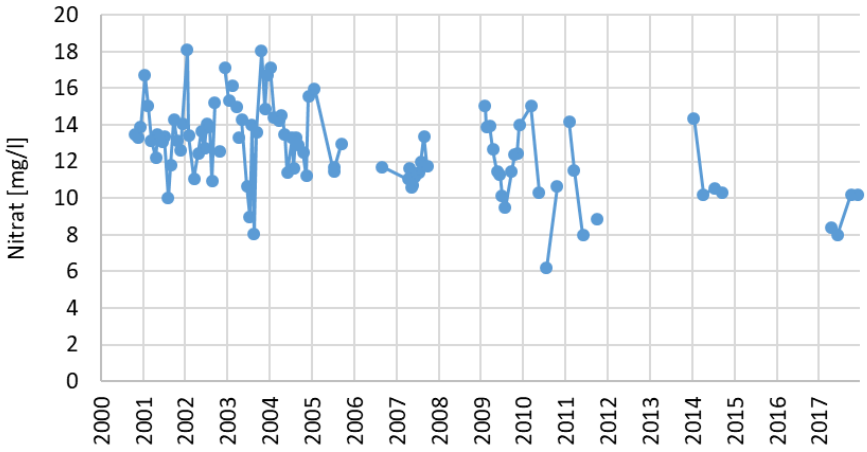


Abbildung 183: Nitratkonzentrationen in der Sieg (Daten: ELWAS-WEB, MLNUV)

7.2.14.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen wird anhand der Trendanalyse, den Magnituden der Trends und anhand einzelner Ganglinien analysiert. Das Gebiet zeigt eine homogene flächendeckende Abnahme der Nitratgehalte, da alle Mediane der untersuchten Messstellenkategorien negativ sind (s. Abbildung 184). Die Steigungsbeträge sind jedoch relativ schwach ausgeprägt und liegen meist bei <1 mg/l pro Jahr. Auf Ackerflächen ist eine weitestgehend geringe Abnahmerate nahe 0

festzustellen, während die zwei von Grünland geprägten Zustromgebiete Nitratverringerungsraten von etwa -0,8 mg/l pro Jahr besitzen.

Die übrigen zugeordneten Zustromgebietskategorien liegen ebenfalls bei 0 bis -1 mg/l pro Jahr, darunter auch die Referenzmessstellen, die sich außerhalb des Kooperationsgebietes befinden und unter Umständen Indikationen der Wirkung von Kooperationsmaßnahmen aufweisen können. Es ist jedoch kein signifikanter Kontrast zwischen den GWM im Wasserschutzgebiet und den Referenzmessstellen hinsichtlich der Magnituden der Trends feststellbar.

Insgesamt besitzen jedoch 37 von 47 analysierten Ganglinien im Untersuchungszeitraum signifikant fallende Trends (s. Abbildung 185), was ca. 80% der untersuchten Messstellen entspricht. Dies unterstreicht die Homogenität der flächendeckenden Nitratminderung. Diese wird nur lokal durch Grundwassermessstellen mit abweichendem Verhalten gestört. Dazu gehören GWM mit hohen Belastungen oder steigenden Trends (Signifikanzniveau 5%) bzw. Tendenzen (Signifikanzniveau 10%).

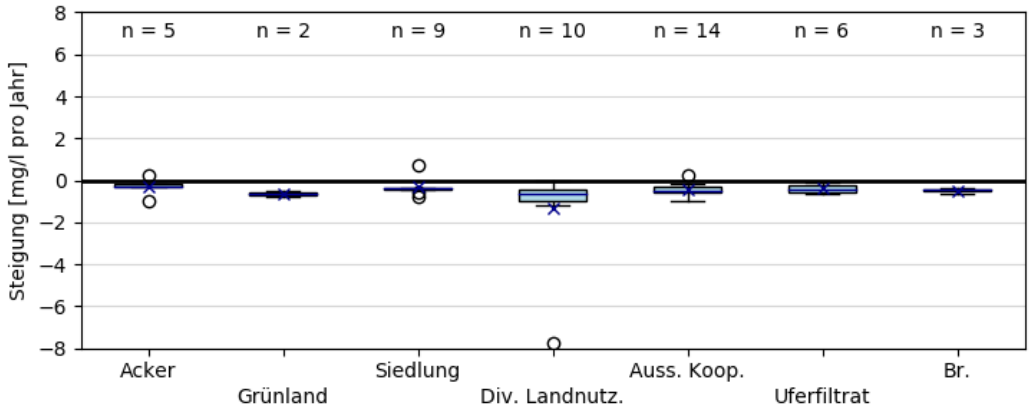


Abbildung 184: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Meindorf / Untere Sieg

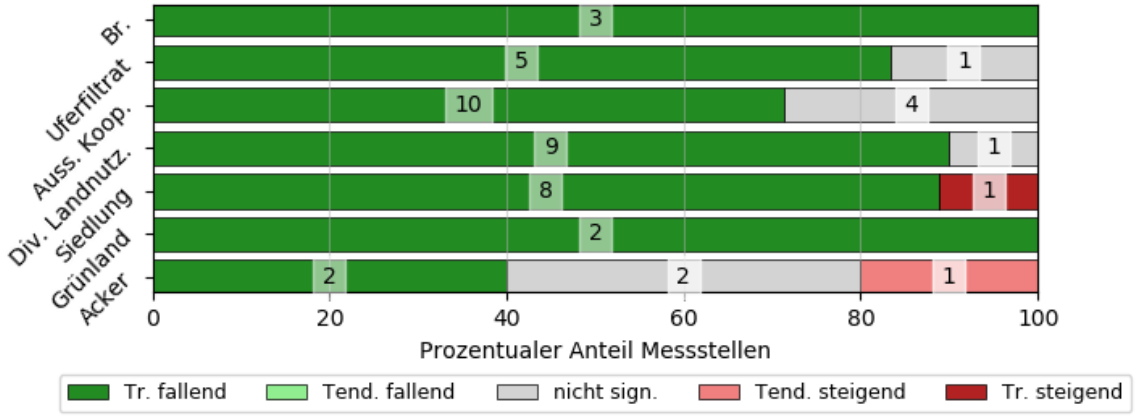


Abbildung 185: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Meindorf / Untere Sieg

Zur qualitativen Beurteilung des Nitratabbaus und der Eintragssituation wurden für jede Grundwassermessstelle die hydrochemischen Leitparameter Chlorid, Sulfat und Hydrogencarbonat ausgewertet. Nur lokal wurden in fünf Messstellen schwache Anzeichen für einen chemo-organotrophen Nitratabbau aufgrund steigender Hydrogencarbonatgehalte ohne einen signifikanten Anstieg des pH-Wertes identifiziert. Räumliche Zusammenhänge wurden dabei nicht festgestellt. Im betrachteten Grundwasserleiter existiert damit kein relevanter flächendeckender Nitratabbau. Hinsichtlich der historischen Entwicklung der Eintragssituation wurden in 13 Fällen mit hoher Konsistenz rückläufige Gehalte an Chlorid, Sulfat und Nitrat festgestellt, die über den gesamten Untersuchungszeitraum anhielten. Diese Beobachtungen liefern deutliche Anzeichen für eine veränderte Eintragssituation und eine

Verringerung des anthropogenen Einflusses. Sulfat weist in der Regel stetig fallende Konzentrationsentwicklungen auf, während bei Chlorid in 14 Fällen eine Trendumkehr zwischen 2008 und 2010 festgestellt werden konnte. Nach langjähriger Verringerung der Chloridwerte stellte sich eine Stagnation und ein Anstieg der Konzentrationen ein. Die übrigen Leitparameter reagieren jedoch nicht auf das veränderte Chlorid-Signal. Das beobachtete Phänomen scheint daher nicht im Zusammenhang mit Veränderungen der Nitratkonzentration zu stehen. Da die Chlorid-Anstiege auch fern des Siegufers in Siedlungen auftreten, ist eine Mischung mit exfiltrierendem Siegwasser wahrscheinlich nicht dafür verantwortlich.

Die Grundwassermessstelle Df011 befindet sich im Südwesten des Wasserschutzgebietes mit signifikant steigendem Trend (0,7 mg/l pro Jahr) und befindet sich am Rand einer Siedlung. Aus der Ganglinie in Abbildung A 10.3.12 – 5 (s. Anhang 10.3.12) geht ein Nitratdurchbruch im Jahre 2014 hervor, der sich durch einen Anstieg von ca. 75 mg/l (2014) auf 100 bis 225 mg/l in den darauffolgenden Jahren auszeichnet. Die Messstelle Cf004 liegt nur wenige 100 m entfernt und ist überwiegend von Ackerland umgeben. Sie besitzt eine steigende Tendenz hinsichtlich Nitrat mit einer relativ geringen Steigung von etwa 0,3 mg/l pro Jahr. Der leicht steigende Charakter mit geringer Signifikanz lässt sich anhand der Ganglinie in Abbildung A 10.3.12 – 4 (s. Anhang 10.3.12) nachvollziehen. Im Laufe der Zeit haben sich die Schwankungsbreiten erhöht, sodass die Konzentrationen temporär bei nahezu 50 mg/l lagen. Die Erhöhung der Nitratkonzentration in diesen GWM resultiert womöglich aus den benachbarten teils stark mit Nitrat belasteten umliegenden GWM (s. Anhang 10.2.12) und kurzfristigen Änderungen des Strömungsregimes.

Das Gebiet südlich der Brunnen, in denen die oben analysierten Messstellen liegen, fällt durch relativ hohe Nitratgehalte von >50 mg/l auf (s. Anhang 10.2.12). In diesem Bereich konzentrieren sich auch die wenigen Messstellen ohne signifikanten Trend im Analysezeitraum. Bei Betrachtung der entsprechenden Ganglinien in Abbildung A 10.3.12 – 5 (Anhang) stellt sich heraus, dass historisch teilweise Nitratsteigungen und –abnahmen in den belasteten GWM zu beobachten sind, jedoch die Gehalte seit ca. zehn Jahren stagnieren.

In den Horizontalfilterbrunnen ist eine signifikant fallende Nitratentwicklung mit Abnahmeraten von ca. 0,5 mg/l pro Jahr für den gesamten Untersuchungszeitraum festzustellen. Die Ganglinien in Abbildung A 10.3.12 – 6 bestätigen die historische Entwicklung. Für die Brunnen II und IV ist festzustellen, dass die Konzentrationen seit 2003 stagnieren. Brunnen I zeigt hingegen einen leichten Anstieg seit 2006. Eine parallele Entwicklung ist in den sich im Anstrom befindlichen Grundwassermessstellen Ed014 und Ee007 zu beobachten (s. Abbildung A 10.3.12 – 3 im Anhang), die zuletzt Konzentrationen von rund 50 mg/l aufwiesen. Die Messstellen befinden sich südlich von Meindorf und deren Zustromgebiete sind von diversen Landnutzungen, insbesondere Siedlung und Landwirtschaft, geprägt.

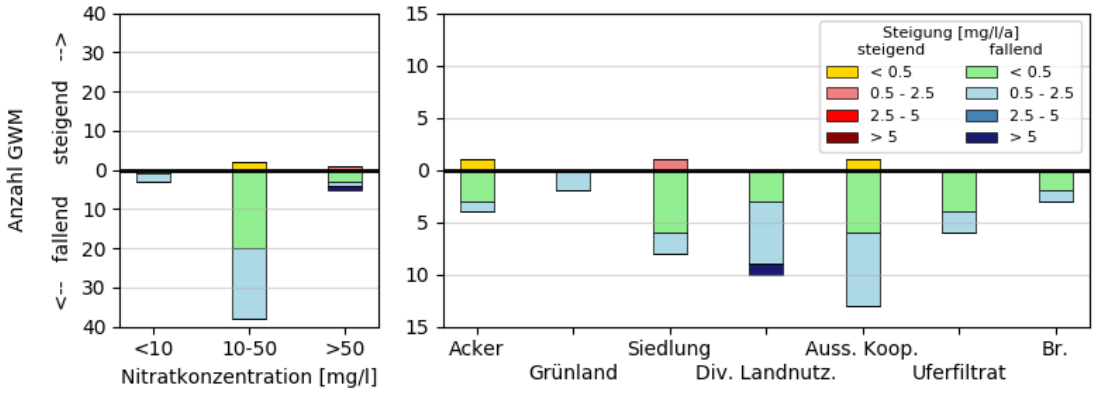


Abbildung 186: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) im WSG Meindorf / Untere Sieg

Die bisherigen Kernaussagen werden durch Abbildung 186 zusammengefasst. Der überwiegende Teil der Messstellen bewegt sich in Konzentrationsspannen von 10 bis 50 mg/l und weist Nitratentwicklungen mit fallendem Charakter auf (s. Abbildung 186, links). Abbildung 186 (rechts) zeigt die homogene Verteilung über die verschiedenen Landnutzungskategorien mit Steigungsklassen von teilweise <0,5 mg/l bzw. 0,5 bis 2,5 mg/l pro Jahr. Nur vereinzelt deuten sich steigende Nitratentwicklungen an.

7.2.14.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Kooperation im WSG Meindorf / Untere Sieg begann im Jahr 1989 und zeichnet sich mit über 25 Jahren Aktivität durch eine hohe Stabilität aus. Im Allgemeinen ist das WSG stark durch Siedlungen beeinflusst. Durch die Nähe zur Sieg sind die Brunnen durch die lokale Vorflut beeinflusst. Die zeitlich gemittelten Nitratkonzentrationen liegen in der Regel bei ca. 20 bis 50 mg/l. Lokal werden weitaus höhere Konzentrationen von über 150 mg/l erreicht.

In Bezug auf den gesamten Analysezeitraum von 1989 bis 2016 ist eine positive Entwicklung hinsichtlich der Nitratgehalte mit flächendeckend fallenden Konzentrationen festzustellen. Dies äußert sich in einem enorm hohen Anteil von über 80% an signifikant fallenden Nitrattrends. Die für den Analysezeitraum ausgewiesenen Nitratabnahmeraten sind jedoch mit meist -0,5 mg/l pro Jahr gering. Eine Abhängigkeit der Abnahmerate von der Landnutzung (z. B. Landwirtschaft, Siedlung) zeigte sich nicht.

Die Analyse der Leitparameter ergab, dass im oberen Grundwasserleiter kein Nitratabbau stattfindet bzw. nur schwache Anzeichen für einen lokalen chemo-organotrophen Abbau bestehen. In einem signifikanten Anteil der Grundwassermessstellen sind jedoch deutliche Anzeichen auf eine sukzessive Verringerung des Nitrateintrages zu beobachten, die eine plausible Erklärung für flächendeckend rückläufige Nitratkonzentrationen und belastbare Hinweise auf den Erfolg der Kooperation liefern.

Allerdings stagniert die positive Entwicklung lokal. Diese ist bei Messstellen mit geringen Nitratgehalten womöglich das Resultat der bereits relativ geringen Konzentrationen von 15 bis 30 mg/l, die bisher erreicht wurden. Ein Gebietsmittelwert von ca. 25 mg/l ist schwer zu unterschreiten. Die Stagnation der Nitratkonzentrationen kann daher als eintretende Sättigung der Kooperationswirkung gesehen werden.

Bei Grundwassermessstellen mit hohen Nitratkonzentrationen von >50 mg/l, die vor allem an zwei Hotspots östlich und südlich der Brunnen identifiziert wurden, wäre jedoch weiterhin eine Abnahme der Nitratwerte aufgrund des geringeren Eintragspotentials, für die die Kooperation sorgt, zu erwarten. Im Brunnen I sind seit 2006 leicht steigende Nitratwerte zu verzeichnen. Aufgrund der geringen Nitratgehalte in der Sieg kann der Einfluss des Uferfiltrats hier nicht maßgebend sein. Daher kommen als Ursachen lediglich Nitratquellen im Grundwasseranstrom in Frage.

Da in den Brunnen II und IV keine Nitratanstiege festgestellt werden konnten, werden die erhöhten Nitratwerte in den Vorfeldmessstellen im östlichen Anstrom des Brunnens I dafür verantwortlich gemacht. Da die Zustromgebiete sowohl durch Siedlungen als auch durch Landwirtschaft geprägt sind, ist eine eindeutige Identifikation der Ursache nicht möglich. Angesichts der lokal stark erhöhten Belastungssituation und der Nähe zu den Brunnen sollte dieser Entwicklung mit einer standortspezifischen Untersuchung zur Ursachenanalyse entgegengewirkt werden.

Die langfristige Stagnation bzw. weitere Verringerung der Nitratgehalte muss durch die Kooperation sichergestellt und darf durch die identifizierten Hotspots nicht gefährdet werden. Eine Standortanalyse der Hot-Spots sollte aus der Aufnahme der N_{min}-Gehalte auf Ackerflächen und der Untersuchung des Einflusses von Siedlungen bestehen.

7.2.15 Kinderhaus

Im WSG Kinderhaus (Münster) stehen zehn Messstellen, davon drei LANUV-Messstellen mit Vollanalysen von 2000 bis 2016 im halbjährlichen bis monatlichen Intervall zur Verfügung. Zudem sind Daten von drei Förderbrunnen verfügbar. Der Brunnen 6 erfüllte die entsprechenden Datenkriterien nicht, da seine Aufzeichnungen lediglich bis 2014 reichen.

Das Kooperationsgebiet zeichnet sich durch ein Prämienmodell mit Flächenpriorisierung aus. Die Priorisierung wurde nach bodenkundlichen und hydrogeologischen Kriterien ausgewiesen und bezieht sich praktisch auf die Austragsgefährdung von Nitrat. Die Landnutzung ist im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes durch den Stadtteil Kinderhaus geprägt, an dessen nördlichen Rand sich der Förderbrunnen FB 0200 anschließt. Zwei weitere Förderbrunnen befinden sich 1,5 km nördlich, deren Zustromgebiete wesentlich landwirtschaftlicher geprägt sind. Die Zustromgebiete öffnen sich nach Westen und sind aufgrund der hohen Durchlässigkeiten sehr ausgedehnt.

7.2.15.1 Grundwasserbeschaffenheit

Für den oberen unbedeckten Grundwasserleiter liegt neben den Vollanalysen auch PSM-Analytik vor, die 35 Wirkstoffe und Metaboliten für den Zeitraum 2000 bis 2017 umfasst. Für die Grundwassermessstellen liegen 6771 Werte vor, von denen 108 (1,6%) über der Bestimmungsgrenze liegen und 53 (0,8%) 0,1 µg/l übersteigen. Die Befunde wurden in den südlichen Messstellen (VP_0002, LG_0110 etc.) festgestellt. Am häufigsten handelte es sich um den Wirkstoff Bromacil, der bis 1990 zugelassen war und für den seit 1993 ein Anwendungsverbot gemäß PflSchAnwV (1992) gilt (BVL 2009). Erwähnenswert ist zudem der zweifache Nachweis von Monuron im Jahr 2016, in beiden Fällen mit Konzentrationen von 0,11 µg/l. Monuron ist seit 1987 nicht mehr zugelassen (BVL 2009).

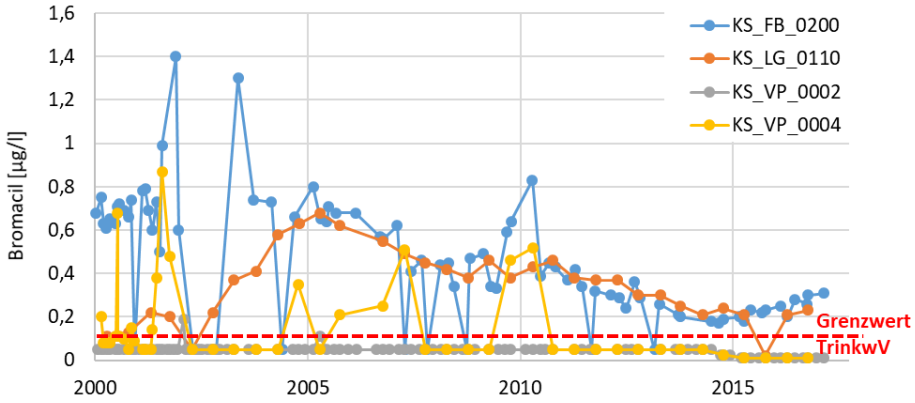


Abbildung 187: Ganglinien zum Wirkstoff Bromacil in betroffenen Messstellen („LG“, „VP“) sowie Förderbrunnen („FB“)

Für die Brunnen liegen 1864 Messwerte vor, von denen 89 (4,7%) über der Bestimmungsgrenze liegen und in 75 Fällen (4%) die Konzentration von 0,1 µg/l überschritten wird. Dabei handelt es sich ausnahmslos um den Wirkstoff Bromacil im Förderbrunnen FB 0200, weshalb eine dauerhafte Grenzwertüberschreitung der TrinkwV (2018) vorliegt. In Abbildung 187 sind die Konzentrationsverläufe von Bromacil dargestellt. Die höchste Konzentration wurde im Brunnen FB 200 mit 1,4 µg/l im Jahr 2001 gemessen. Da keine Zulassung des Stoffes besteht und die Konzentrationen seit Jahrzehnten rückläufig sind, ist davon auszugehen, dass es sich um Rückstände im Grundwasser aufgrund langjähriger Einträge handelt. Da der Einsatz vor allem im Zusammenhang mit der Glasfreihaltung erfolgte, besteht hier kein Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Intensität.

Die hydrochemischen Leitparameter für Nitratabbauprozesse zeigen Konzentrationen von durchschnittlich 45 mg/l Chlorid (max. 129 mg/l), 215 mg/l Hydrogencarbonat (max. 450 mg/l) und 103 mg/l Sulfat (max. 240 mg/l). Sie wurden in Hinblick auf das Nitratabbaupotential detailliert analysiert. Die Ganglinien weisen weitestgehend keine Anzeichen für Nitratabbau auf, lediglich in wenigen Einzelfällen liegen schwache Indikationen für einen chemo-lithotrophen Abbaumechanismus vor, der nicht sicher belegt und nicht flächendeckend ausgeprägt ist.

In Abbildung 188 ist die Verteilung der zeitlich gemittelten Nitratkonzentrationen im oberen Grundwasserleiter anhand der Lage der Zustromgebiete und der Art des Grundwasseraufschlusses dargelegt. Da außer der Flächenpriorisierung keine weitere Differenzierung nach Kooperationsmaßnahmen innerhalb des Kooperationsgebietes besteht, wurden die Grundwassermessstellen hinsichtlich der Landnutzung in ihrem Zustrom kategorisiert. Lediglich zwei GWM mit überwiegend landwirtschaftlich geprägten Zustromgebieten wurden dem Prämiengebiet zugeordnet (LG 0110 und LG 057A). Sie besitzen zeitlich gemittelte Nitratkonzentrationen von je 60 und 120 mg/l. Die übrigen Grundwassermessstellen im Kooperationsgebiet konnten unter anderem aufgrund der Uneindeutigkeit der Zustromgebiete keiner dominierenden Flächennutzung zugeordnet werden, daher wurden sie als „diverse Nutzung“ ausgewiesen. Sie besitzen Nitratgehalte von 10 bis 110 mg/l (Median: 15 mg/l, Mittelwert 48 mg/l).

Der Vergleich zwischen den gruppierten Boxplots in Abbildung 188 zeigt, dass die Mittelwerte aktuell (2014 bis 2016, dunkelblaue Boxplots) auf einem geringeren Niveau liegen als die zeitlich gemittelten Nitratwerte. Die Belastungssituation bezüglich Nitrat hat sich damit geringfügig verbessert. In Abbildung 189 sind exemplarische repräsentative Ganglinien für das Gebiet dargestellt, die die teilweise stetig fallenden bzw. stagnierenden Verläufe zeigen.

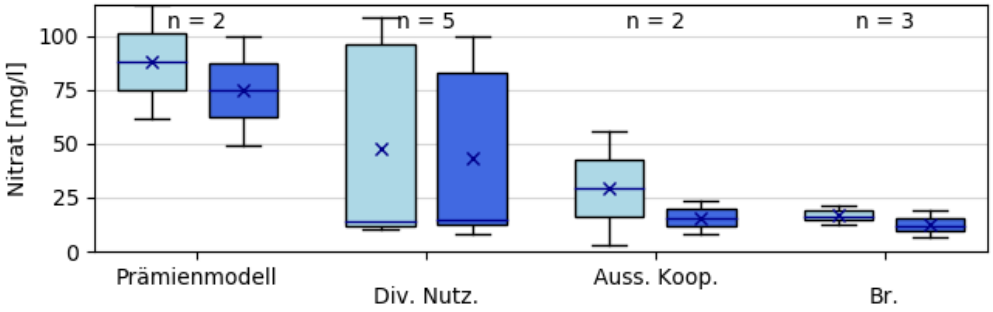


Abbildung 188: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Kinderhaus für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

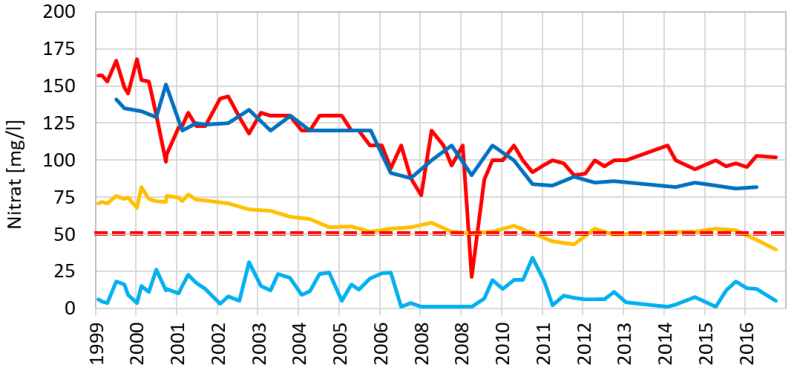


Abbildung 189: Exemplarische Nitratganglinien für verschiedene Konzentrationsniveaus im WSG Kinderhaus

Die Referenzmessstellen außerhalb des Kooperationsgebietes zeigen Nitratkonzentrationen von jeweils ca. 3 und 55 mg/l. Die Flächennutzung im Zustrom dieser Messstellen ist teilweise urban (Mst.-Nr. 114001625) bzw. landwirtschaftlich (114001730) geprägt, wobei letztere die höhere Konzentration aufwies.

Die zeitlich gemittelten Nitratkonzentrationen liegen in den Förderbrunnen zwischen 15 und 25 mg/l. Im Vergleich zwischen für den gesamte Untersuchungszeitraum und aktuell (2014 – 2016) gemittelten Werten ist auch in den Brunnen eine Nitratabnahme festzustellen.

7.2.15.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Mit Ausnahme einer LANUV-Messstelle hielten alle Datensätze die Kriterien für die Trendanalyse ein. Als Referenz verblieb damit eine einzige GWM. In Abbildung 190 und Abbildung 191 sind die Verteilungen der Steigungen sowie die Signifikanz der Nitratentwicklungen dargestellt.

Die zwei Messstellen im Prämiengebiet besitzen signifikant fallende Trends mit Abnahmeraten von -2 und -3,5 mg/l pro Jahr. Weitere fünf Messstellen mit divers geprägten Zustromgebieten zeigen sehr unterschiedliche Verhalten mit Steigungen von -4 bis 2 mg/l pro Jahr (Median: 0,5 mg/l pro Jahr). Diese besitzen überwiegend steigende Tendenzen bzw. signifikant steigende Trends. Die verbleibende Referenzmessstelle außerhalb des Kooperationsgebietes eignet sich nur bedingt als Vergleich, da ihr nahes Zustromgebiet durch den Münsteraner Stadtteil Kinderhaus geprägt ist. Die Signifikanz der Nitratentwicklung ist schwach ausgeprägt (Tendenz mit Signifikanzniveau 10%), jedoch ist die Steigung nahe Null, womit keine hydrochemische Relevanz gegeben ist.

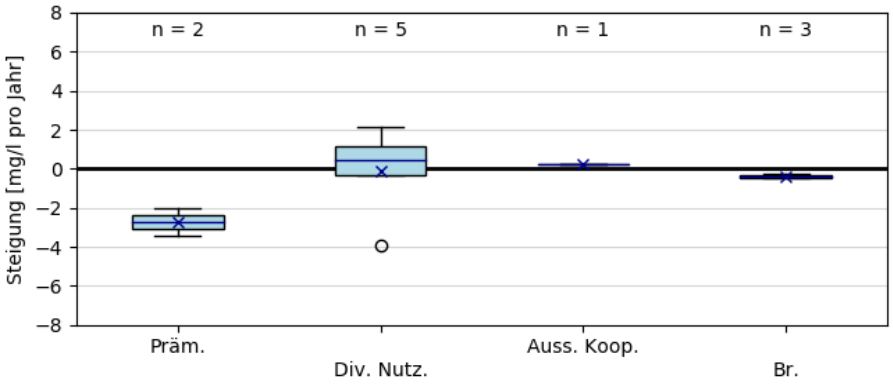


Abbildung 190: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Kinderhaus (Median: blaue Linie, Mittelwert: Kreuz)

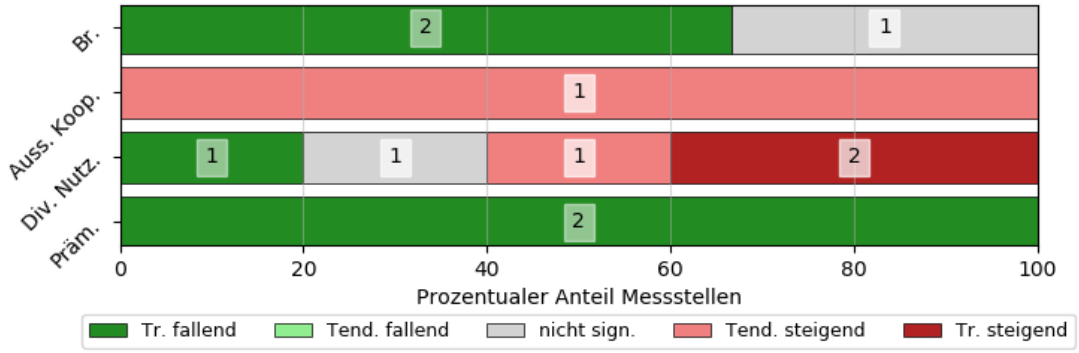


Abbildung 191: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Kinderhaus

Die Ganglinien in Anhang 10.3.15 bestätigen dieses Bild. Überwiegend sind fallende Entwicklungen zu verzeichnen, wobei diese bei dem Zeitraum 2000 bis 2008 zuzuschreiben sind. Seitdem stagnieren die Werte auf ihren entsprechenden Konzentrationsniveaus.

Die Brunnen zeigen eine relativ einheitliche Entwicklung mit Steigungen von ca. -0,4 mg/l pro Jahr ohne Streuung der Steigungen. Dies lässt sich auch in den Ganglinien (s. Abbildung A 10.3.15 – 2) erkennen. Der Anteil landwirtschaftlicher Flächen an den Zustromgebieten ist bei den nördlichen Brunnen (FB 0400 und FB 0500) höher als im südlichen Teil (FB 0200). Während bei den nördlichen Brunnen eine mit Schwankungen verbundene kontinuierliche Abnahme von Nitrat seit 2000 zu beobachten ist, scheint diese im südlichen Teil erst ca. 2012 eingesetzt zu haben. Möglicherweise spiegelt dies u. a. den Einfluss der überwiegend südlich gelegenen siedlungsgeprägten Flächen wider (s. Karte in

Anhang 10.2.15). Ein Einfluss durch die oberirdischen Gewässer Kinderbach und Münstersche Aa ist allerdings auch denkbar. Im Jahr 2016 lagen die Nitratkonzentrationen zuletzt bei 10 bis 20 mg/l.

Die Gegenüberstellung der Konzentrationsklassen und der Steigungsraten in Abbildung 192 zeigt die mäßige bis hohe Nitratkonzentrationsniveau des Gebietes. Die höheren Konzentrationen besitzen dabei höchsten Abnahmeraten und entfallen weitestgehend auf das Prämienmodell. Bei der zustromgebietsbezogenen Betrachtung (s. Abbildung 192, rechts) deutet sich leicht an, dass sich Messstellen mit fallendem Charakter überwiegend auf das Prämienmodell sowie die Brunnen verteilen.

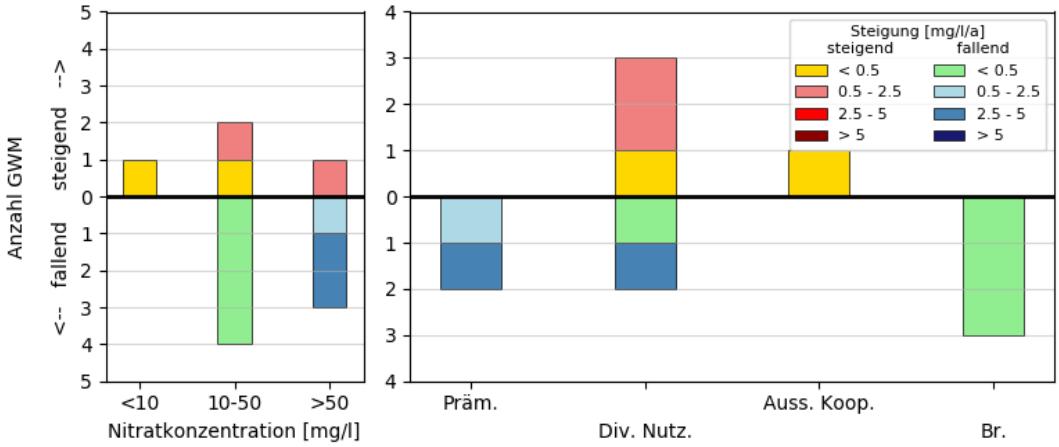


Abbildung 192: Verteilung der Steigung der Nitrattrends nach Nitratkonzentrationsklasse (links) und Messstellenkategorie (rechts) im WSG Kinderhaus

7.2.15.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Im WSG Kinderhaus existiert die Kooperation seit 1991. In späteren Jahren wurde ein Prämienmodell eingeführt. Eine umfassende Bewertung der Kooperation ist aufgrund der Datenlage mit sehr kleinen Stichproben nur begrenzt möglich.

Deutlich landwirtschaftlich geprägte Zustromgebiete innerhalb des Prämiengebietes besitzen die Grundwassermessstellen LG 057A und LG 0110. Diese zeigen signifikant fallende Trends mit mäßigen bis hohen Abnahmeraten von bis zu -3,5 mg/l Nitrat pro Jahr für den Untersuchungszeitraum 1991 bis 2017. In der Studie vom IWW (2006) gab es bereits Auswertungen zu Nitrattrends von vier Grundwassermessstellen. Dabei wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt. Die Hälfte der GWM besaß signifikant fallende Trends und die andere Hälfte zeigte keine Signifikanz für den Zeitraum 1997 bis 2003. Im Rahmen der Ganglinienanalyse wurde ersichtlich, dass die Abnahme bis etwa 2009 andauerte und seitdem auf den entsprechenden Niveaus, 100 mg/l bei LG 057A und 50 mg/l bei LG 0110, stagniert. Die Nitratentwicklung mit stagnierenden Werten auf hohem Konzentrationsniveau und damit verbundene Eintragssituation ist damit nicht im gesamten Gebiet auf einem aus Sicht des Grundwasserschutzes tolerierbaren Niveau. Die Werte sind – wenn auch lokal auf hohem Niveau – stabil in Hinblick auf die Nitratkonzentration, was sich positiv auf die Nitratentwicklung in den Förderbrunnen, vor allem FB 0400 und FB 0500, mit leicht fallenden Trends ausgewirkt hat.

Der Umbau der Wasserinfrastruktur in Münster sieht vor, das Wasserwerk Kinderhaus in Zukunft zu schließen. Die Wasserversorgung soll nach Sanierung durch die Wasserwerke Hornheide und Hohe Ward erfolgen (SW Münster 2019). Damit entfällt der Status als WSG und die Grundlage der Kooperation.

Erhöhte PSM-Konzentrationen sind lokal auf den südlichen Teil des Wasserschutzgebietes begrenzt. Seit über 15 Jahren werden kontinuierlich Grenzwertüberschreitungen des Herbizids Bromacil im Förderbrunnen FB 0200 festgestellt. Da seit 1993 ein Anwendungsverbot herrscht (BVL 2009), ist die Belastung offenbar historischer Natur. Das Problem ist jedoch weiterhin aktuell und von Relevanz. Die weiterhin anhaltenden Grenzwertüberschreitungen sollten bei der Nachsorge im Hinblick auf potentielle Stoffeinträge in die Münstersche Aa berücksichtigt werden.

7.2.16 Hedem

Für die hydrochemische Auswertung im WSG Preußisch Oldendorf – Hedem-Harlinghausen, insbesondere der Nitratentwicklungen im Zustrom der Wassergewinnung Hedem, stehen lediglich vier Grundwassermessstellen, darunter eine Multi-Level-Messstelle mit Ausbau in den Teufen 6,5 m, 8,5 m, 10,5 m, 12,5 m und 15 m zur Verfügung, wobei das 15 m-Teufenniveau lediglich Daten bis 2003 aufweist und damit nicht die festgelegten Kriterien zur Messstellenauswahl erfüllt. Vereinfacht werden im Folgenden auch die Teufenniveaus der HE90ML als Grundwasssermessstelle bezeichnet. Grundsätzlich stehen weitere Messstellen im WSG zur Verfügung, jedoch liegen dafür keine Zeitreihen zur Nitratentwicklung vor.

Die untersuchten GWM liegen ausnahmslos im nördlichen Teil des Kooperationsgebietes Minden-Lübbecke knapp außerhalb des Wasserschutzgebietes und repräsentieren damit lediglich den nördlichen Teilbereich des Untersuchungsgebietes. Die Repräsentativität wird darüber hinaus durch den Ausbau der Grundwassermessstellen beeinflusst. Die Messstellen HE88 und HE89 besitzen lange Filterstrecken von 10 bis 15 m und spiegeln somit auch die Hydrochemie der tieferen Bereiche des Grundwasserleiters wider. Zum Vergleich mit außerhalb des Kooperationsgebietes liegenden GWM konnten zwei LANUV-Messstellen (100141328 und 100141377) jeweils 3 km nördlich und 5 km nordöstlich des WSG als Referenzmessstellen herangezogen werden.

Zudem sind Daten von 17 Brunnen der Wassergewinnung Hedem, die in den lokalen Grundwasserstockwerken „L1“ und „L2“ ausgebaut sind, verfügbar. Die Brunnen der Wassergewinnung Harlinghausen wurden in der vorliegenden Auswertung nicht berücksichtigt.

7.2.16.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beschreibung der chemischen Grundwasserbeschaffenheit stehen Vollanalysen und PSM-Analysen, teilweise mit Messbeginn in den 80er Jahren zur Verfügung. Der Untersuchungszeitraum wurde an den Kooperationsbeginn angepasst und daher nur die Daten nach 1994 analysiert.

Bei der Prüfung aller verfügbaren PSM-Messwerte wurden in zwei von 1879 Fällen Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze festgestellt. Dabei handelte es sich um die Stoffe Chloridazon-desphenyl (nicht-relevanter Metabolit des Wirkstoffes Chloridazon) mit 1,4 µg/l im Jahr 2016 und Bentazon mit 0,03 µg/l in 2013. Dabei blieb Chloridazon-desphenyl unter dem geltenden gesundheitlichen Orientierungswert von 3 µg/l (UBA, 2019) und Bentazon unterhalb des Grenzwertes für PSM-Einzelwirkstoffe von 0,1 µg/l der TrinkwV (2018).

In den Datensätzen der Vollanalysen sind Datenlücken in den Jahren 2000 bis 2008 vorhanden. Der Auswertung sind nicht nur datensatzspezifische Grenzen gesetzt, sondern es sind auch hydrogeologische Limitationen zu beachten. Eine Zuordnung zeitlich stabiler Zustromgebiete zu den Brunnen und Grundwassermessstellen gestaltete sich aufgrund der Hydrodynamik mit variierenden Förderraten und tief gelegenen, langen Filtern (Mischwässer mit unterschiedlichem Alter und Eintragsorten) als problematisch. Grundsätzlich lässt sich jedoch festhalten, dass die Messstellen lediglich den Zustrom der im Norden gelegenen Brunnen abbilden.

In Abbildung 193 wurden die Grundwassermessstellen hinsichtlich ihrer Teufenniveaus klassifiziert. Die oberen beiden Level der HE90ML sowie HE92 spiegeln dabei das Niveau 5 – 10 m wider, während die unteren Level 10,5 und 12,5 m der HE90ML sowie HE88 und HE89 die Tiefe >10 m abbilden. Trotz der problematischen Größe der verbleibenden Stichproben deutet sich eine Tiefenabhängigkeit der vorgefundenen Nitratkonzentrationen an, was einen in der Tiefe stattfindenden Nitratabbau vermuten lässt. Die Vermutung wird dadurch bestätigt, dass im WSG generell sehr geringe Nitratkonzentrationen vorzufinden sind, obwohl die Landnutzung sehr landwirtschaftlich geprägt und damit das Eintragspotential hoch ist. Die Referenzmessstellen außerhalb des Kooperationsgebietes und die Brunnen zeigten ebenfalls geringe Nitratkonzentrationen, die nur selten 2 mg/l übersteigen. Ein Brunnen (HE10BR) wies zeitlich gemittelte Nitratkonzentrationen von 15 mg/l auf.

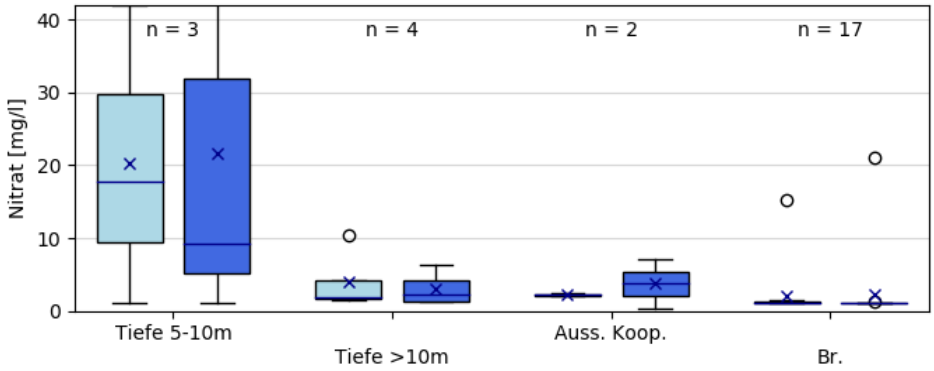


Abbildung 193: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im Grundwasser im WSG Hedem für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

7.2.16.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Aufgrund der geringen Nitratkonzentrationen ist keine signifikante zeitliche Entwicklung bezüglich dieses Parameters zu erwarten. Die automatisierte Trendanalyse bestätigte dies für alle Messstellen und Brunnen mit Ausnahme des HE10BR, der im weiteren Verlauf des Kapitels näher betrachtet wird. Zielführend ist daher die Analyse der Leitparameter, vor allem von Sulfat, Chlorid, dem molaren Sulfat-Chlorid-Verhältnis (r SO4/Cl), Hydrogencarbonat und des pH-Wertes. Diese können die Eintragssituation und einen möglichen Nitratabbau indirekt abbilden. Die Verläufe der Ganglinien der Leitparameter in den Brunnen wurden dazu qualitativ ausgewertet. Eine beispielhafte Ganglienschar des Brunnens HE7BR ist in Abbildung 194 aufgeführt.

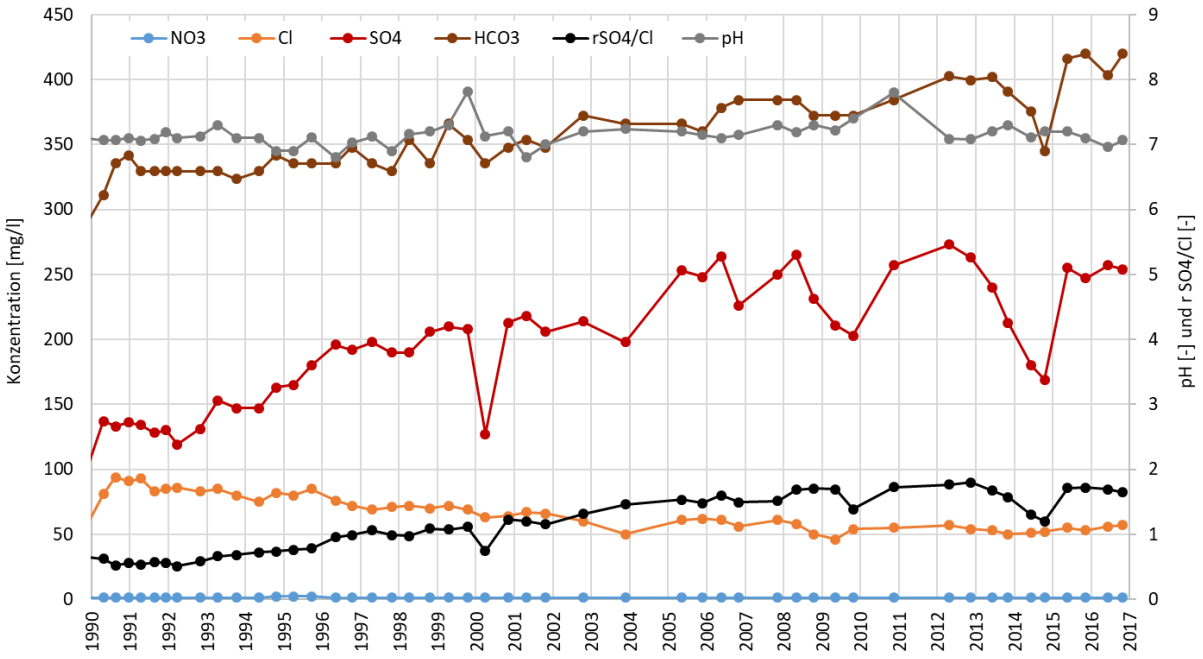


Abbildung 194: Ganglinien der hydrochemischen Leitparameter für das Beispiel des Brunnens HE7BR

Im Zuge der Analysen zeigte vor allem der Parameter Chlorid in Grundwassermessstellen Auffälligkeiten. In Anhang 10.3.14 (Abbildung A 10.3.14 – 2) sind die Ganglinien der HE90ML für die Leitparameter in verschiedenen Teufenniveaus dargestellt. Es zeigt sich bei Chlorid (rechts oben) ein Durchbruch Anfang der 90er Jahre mit einem Anstieg von ca. 80 mg/l auf 1000 mg/l in 1999. Offenbar liegt hier ein Einfluss von Fremdwasser vor. Es herrscht eine Tiefenabhängigkeit mit einem nach oben

gerichteten Konzentrationsgradienten. In der Karte in Anhang 10.2.14 lässt sich ein kleinskaliges Grundwasserplateau unter dem Mittellandkanal lokalisieren, das womöglich die Konzentrationsanomalie in der Multilevel-Messstelle HE90ML verursacht. Demnach würde es sich beim Fremdwasser um infiltrierendes Oberflächenwasser aus dem Mittellandkanal handeln. Durch das Fremdwasser werden weitere Leitparameter beeinflusst, indem die Sulfat-Gehalte erhöht und die Hydrogencarbonat-Gehalte verringert werden. Dies geht aus den Ganglinien in Abbildung A 10.3.16 – 2 (links und rechts unten) hervor. Damit erschwert der Einfluss des Fremdwassers die Bewertung des Nitratabbaupotentials in Grundwassermessstellen und Brunnen. Der Fremdwasserdurchbruch konnte lediglich in den nördlich gelegenen Grundwassermessstellen, nicht aber in den Brunnen festgestellt werden.

Im Ergebnis der Analyse der Ganglinien konnten daher für die Grundwassermessstellen unter Berücksichtigung des Fremdwassers keine gesicherten Aussagen getroffen werden. Es wurden hingegen bei acht von 17 Brunnen (47%) Anzeichen eines chemo-lithotrophen Abbaus und bei zwölf Brunnen (70%) Hinweise auf einen chemo-organotrophen Nitratabbau beobachtet. In sieben Fällen lag das zeitlich gemittelte molare Sulfat-Chlorid-Verhältnis über 1, was zusammen mit steigenden Sulfatgehalten ein Hinweis auf eine Sulfatfreisetzung durch Oxidation von Eisendisulfiden ist.

Zeitweise stellten sich in den zeitlichen Verläufen stagnierende Verhältnisse der hydrochemischen Leitparameter ein. Derartige Trendumkehren von steigenden zu gleichbleibenden Konzentrationen wurden beim chemo-organotrophen Mechanismus in sechs Fällen festgestellt, was ca. 50% der Fälle mit vorhandenem Abbaupotential und ca. 34% der gesamten Anzahl an Brunnen entspricht. Der chemo-lithotrophe Mechanismus zeigte ebenfalls in sechs Fällen eintretende stagnierende Verhältnisse, was 75% der Messstellen mit vorhandenem Abbaupotential entspricht. Ob dies auf einen stagnierenden Nitratabbau zurückzuführen ist, lässt sich nicht abschließend klären, da Konzentrationsänderungen im Grundwasserleiter auch der Grundwasserdynamik und veränderten Stoffeintragspotentialen unterworfen sind.

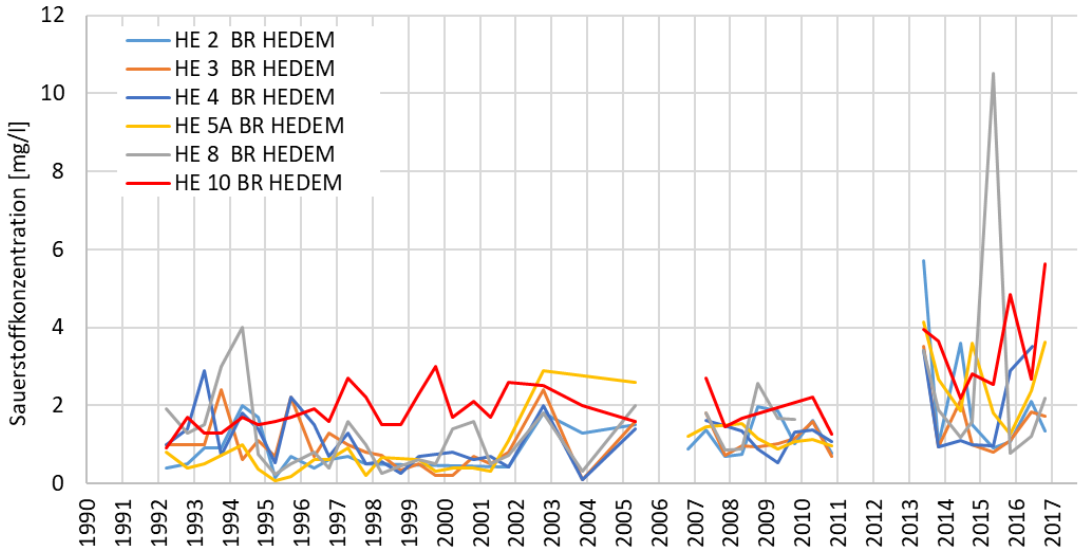


Abbildung 195: Ganglinien der Sauerstoffkonzentration in ausgewählten Brunnen im WSG Hedem

Der Nitratabbau sorgt damit für die vorgefundenen weitestgehend nitratfreien Verhältnisse im Grundwasserleiter. In Brunnen 10 ist jedoch ein stetiger Nitratanstieg von ca. 10 mg/l Anfang der 90er Jahre auf mittlerweile 20 bis 25 mg/l festzustellen (s. Ganglinien in Abbildung A 10.3.16 – 3), der statistisch signifikant ist. Der Anstieg kann grundsätzlich durch einen erhöhten Nitrateintrag oder einen nachlassenden Abbau erklärt werden. Es kann darüber hinaus eine Zunahme der Sauerstoffkonzentration auf nahezu 6 mg/l in 2017 festgestellt werden (s. Abbildung 195). Daher bietet ein nachlassender Nitratabbau die plausiblere Erklärung. Auch in weiteren Brunnen werden zeitweise Sauerstoffanstiege auf über 2 mg/l beobachtet. Da die Denitrifikation nur unter sauerstoffarmen Verhältnissen erfolgen kann, sind die Konzentrationsanstiege als mögliche Anzeichen für einen nachlassenden Nitratabbau zu werten.

7.2.16.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Kooperation im WSG Hedem existiert seit 1994 und besteht aus Beratungsleistungen auf Nachfrage und der Förderung von Flächenmaßnahmen, vor allem des Zwischenfruchtanbaus. Das Gebiet zeichnet sich durch eine besondere hydrogeologische Situation mit einem bedeckten Grundwasserleiter und ausgeprägtem flächendeckenden Nitratabbau aus. Diese Umstände erfordern eine von der bisher angewandten Methodik zur Erfassung des Kooperationserfolgs abweichende Herangehensweise, die auf eine der Datenlage entsprechende detaillierte Erfassung des Nitratabbaupotentials abzielt. Aus den im Norden des WSG befindlichen Grundwassermessstellen konnten allerdings keine belastbaren Informationen gewonnen werden, da dort lokal ein Einfluss durch Fremdwasser vorliegt.

Im Zuge der Analyse der hydrochemischen Leitparameter wurden in 13 von 17 Brunnen Anzeichen eines chemo-lithotrophen bzw. chemo-organotrophen Nitratabbaus identifiziert. Dies legt nahe, dass das geringe Konzentrationsniveau bezüglich Nitrat im Grundwasserleiter auf das ausgeprägte Nitratabbaupotential zurückzuführen ist. Die Analyse der Leitparameter erlaubte jedoch keinerlei gesicherten Aussagen zur Entwicklung des Nitratabbaupotentials (z. B. Stagnation) oder der Veränderung des Nitrateintrags (z. B. aufgrund eines Kooperationserfolgs).

In den letzten Jahren wurden lokal deutliche Anstiege der Sauerstoffkonzentrationen beobachtet, deren Ursache womöglich ein erschöpfter Nitratabbau im lokalen Grundwasseranstrom des Brunnens HE10BR ist. Die Konzentrationsentwicklung sollte beobachtet und im Rahmen weiterer Bewertungen des Nitratabbaus berücksichtigt werden, da die Sauerstoffzehrung eine Voraussetzung für Denitrifikationsprozesse ist.

Das Messnetz zur Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit im WSG Hedem weist erhebliche Defizite im Hinblick auf den Parameterumfang auf, da die Erfassung von Nitrat offenbar nur in wenigen und nicht in allen Grundwassermessstellen erfolgt. Damit ist keine umfassende Bewertung der Kooperation in Hinblick auf die Nitratentwicklungen möglich. Die Analyse von Nitrat im Grundwasser sollte in Zukunft in allen flach ausgebauten Grundwassermessstellen innerhalb des Wasserschutzgebietes erfolgen, um Erfolgskontrollen der Kooperationsmaßnahmen zu ermöglichen. Vor allem für ein vorsorgendes Monitoring des Nitratabbaupotentials ist eine umfangreiche Datenlage unabdingbar.

7.2.17 Boker Heide

Für die hydrochemische Charakterisierung des Wasserschutzgebietes Boker Heide existieren in den drei Teilgebieten entlang der Lippe insgesamt 13 Grundwassermessstellen, die sich in der Nähe der Förderbrunnen befinden. Zusätzlich konnten drei LANUV-Messstellen als Referenz zur Beschreibung der Hydrochemie außerhalb der Kooperation hinzugezogen werden. Sie befinden sich 1 bis max. 3 km südlich bzw. östlich vom Wasserschutzgebiet. Die Messstellen schließen quartäre Sande und Kiese auf und sind flach verfiltert, d. h. die Filterunterkante liegt in Teufen von 6 bis 8 m, in Einzelfällen bei max. 12 m mit Filterlängen von meist 2 m. Das Gebiet ist vor allem von landwirtschaftlicher Flächennutzung, lokal auch von Siedlungen geprägt (s. Übersichtskarte in Anhang 10.2.15).

7.2.17.1 Grundwasserbeschaffenheit

Zur Erfassung der Beschaffenheit des obersten Grundwasserleiters liegen Daten zu Hauptinhaltsstoffen und Nitrat für den Zeitraum 2005 bis 2016 vor. Die Verteilung der Nitratkonzentration wird in Abbildung 196 beschrieben, einerseits für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblaue Boxplots) und andererseits für die aktuelle Zeitspanne 2014 bis 2016 (dunkelblaue Boxplots). Im Beratungsgebiet liegt eine räumlich heterogene Nitratverteilung vor mit Gehalten von meist < 30 mg/l. In zwei Fällen wurden Konzentrationen von 80 bzw. 100 mg/l erreicht. Dabei handelt es sich um die GWM 81 in der Nähe des Brunnens HFB IV im Südwesten und GWM 43 in unmittelbarer Nähe des Brunnens HFB II (s. Anhang 10.2.15).

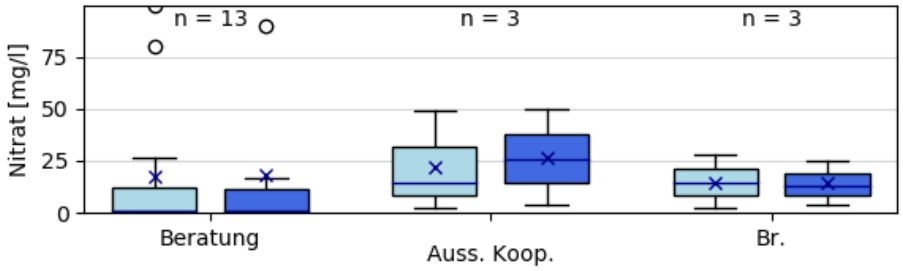


Abbildung 196: Statistischer Überblick zu Nitratmittelwerten im WSG Boker Heide für den gesamten Untersuchungszeitraum (hellblau) und 2014 – 2016

Die LANUV-Messstellen außerhalb des Kooperationsgebietes zeigen unterschiedliche Konzentrationen von 3 bis 50 mg/l. Die Grundwassermessstelle 21175706 (1,6 km östlich des Heddinghauser Sees) besitzt eine gemittelte Konzentration von 14 mg/l, während die 2 km südwestlich der Kiesseen gelegene Messstelle 21176103 einen Nitratgehalt von 3 mg/l zeigt. Die sich 2,5 km südlich des HFB IV befindliche GWM 21171403 zeigt die höchste Konzentration von ca. 50 mg/l. Die Konzentrationsverteilung ist damit auch außerhalb des Gebietes heterogen.

Dies schlägt sich auch in den Konzentrationsniveaus der Horizontalfilterbrunnen nieder, die eine Spanne von nahezu nitratfreien Verhältnissen (HFB I im Nordosten) bis zu etwa 30 mg/l Nitrat im südwestlich gelegenen HFB IV aufweisen. Der Brunnen HFB II besitzt ein mittleres Konzentrationsniveau von 14 mg/l. Daraus ergibt sich in Hinblick auf das Rohwasser ein relativ geringes Konzentrationsniveau im nordöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes in der Nähe der Baggerkiesseen und erhöhte Nitratwerte im südwestlichen Teil direkt an der Lippe.

Aus den Grundwasserisohypsen in Anhang 10.2.15 ist zu schließen, dass ein Anschluss der oberirdischen Gewässer an den oberflächennahen Grundwasserleiter gegeben ist. Die Sulfat- und Nitratkonzentrationen der Lippe sind in Abbildung 197 dargestellt. Die Sulfat-Gehalte lagen zwischen 1995 und 2017 bei 30 bis 70 mg/l. Die Nitratkonzentrationen befanden sich Ende der 90er Jahre auf einem Niveau von 30 mg/l. Bis 2005 sanken sie auf rund 20 mg/l und stagnieren seitdem auf diesem Niveau. Seit 2011 ist ein geringfügiger Anstieg zu verzeichnen.

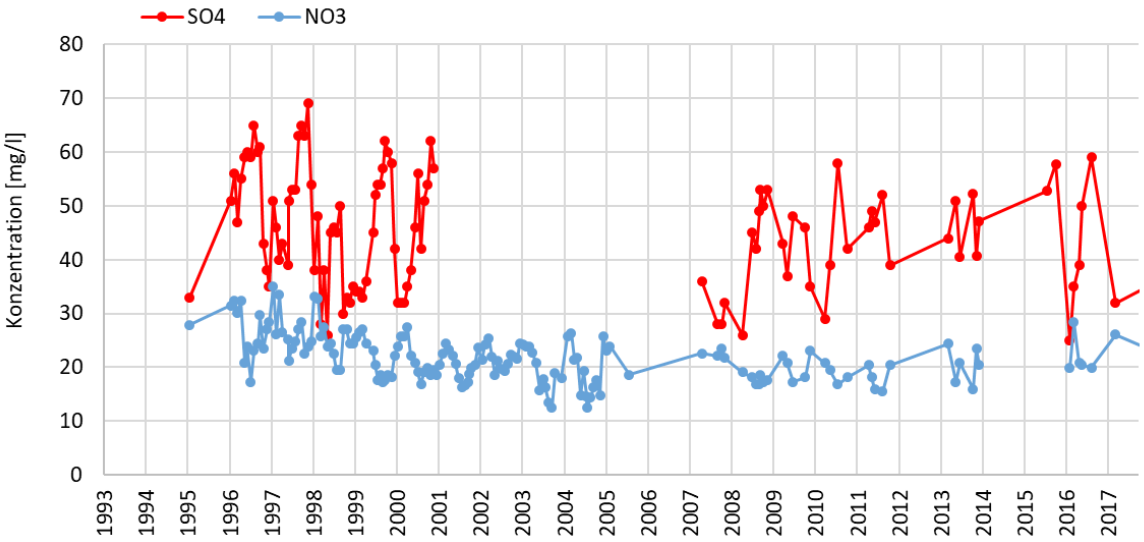


Abbildung 197: Ganglinien für Nitrat und Sulfat in der Lippe (

Zur qualitativen Erfassung des Nitratabbaupotentials im oberen Grundwasserleiter wurden Ganglinien der Leitparameter ausgewertet. Die Konzentrationen von Chlorid und Sulfat betragen in den Messstellen und Brunnen im Mittel jeweils ca. 32 und 75 mg/l. Hydrogencarbonat erreicht in den Brunnen

ca. 230 mg/l. Die Auswertung der verfügbaren Leitparameter ergab keine Anzeichen für einen flächendeckenden Nitratabbau. Auffälligkeiten wurden jedoch bei den Ganglinien des Brunnens HFB I festgestellt, da (s. Abbildung 198).

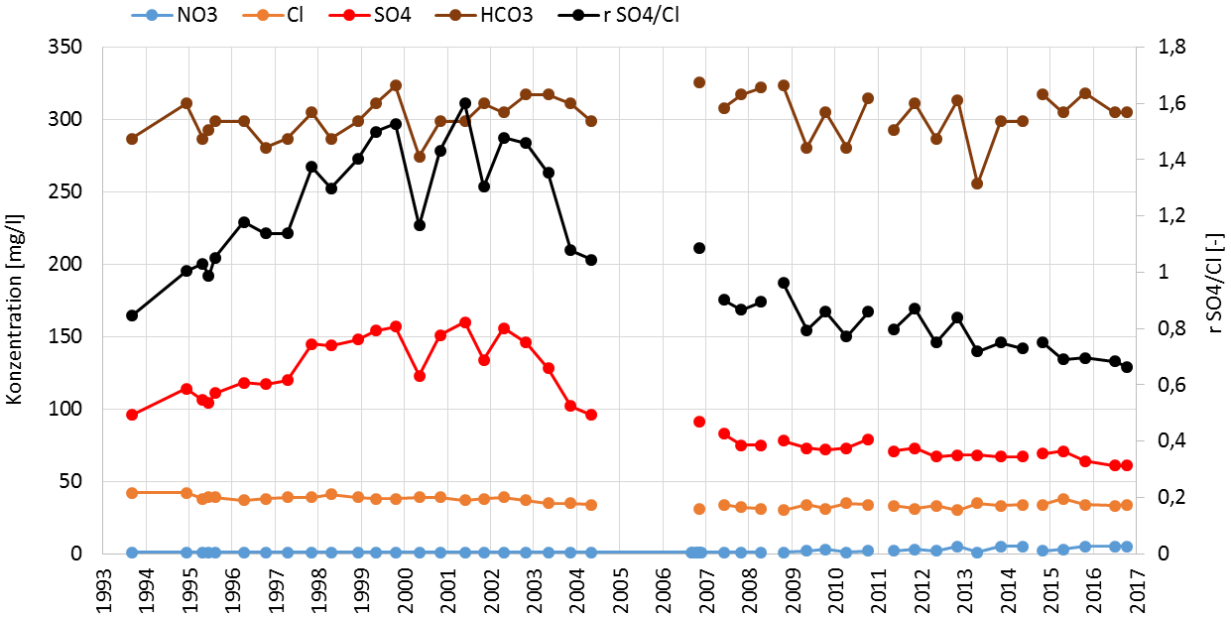


Abbildung 198: Ganglinien hydrochemischer Leitparameter im Brunnen HFB I

Die Anstiege der Sulfat-Konzentrationen von 160 auf 310 mg/l und des molaren Sulfat-Chlorid-Verhältnisses von 0,8 auf 1,6 im Zeitraum 1993 bis 2001 können als Anzeichen für einen chemo-lithotrophen Nitratabbau gewertet werden, der zu einer Sulfat-Freisetzung im Grundwasserleiter führte. Daran schließt sich ein erneuter Rückgang der genannten Leitparameter nach Ende 2001. Mögliche Ursachen sind ein zum Erliegen gekommener Nitratabbau oder eine Änderung des Förderregimes (s. Abbildung 20). Im Jahr 2003 wurde die Nettojahresfördermenge des HFB I halbiert, was womöglich Auswirkungen auf die Rohwasserbeschaffenheit hatte

7.2.17.2 Ganglinienanalyse und Nitrattrend

Im Rahmen der Trendanalyse hielten alle Grundwassermessstellen und Brunnen die Kriterien zur Trendberechnung ein. Die Ergebnisse sind in Abbildung 199 und Abbildung 200 dargestellt.

Insgesamt zeigt sich, dass der Großteil der Messstellen keine signifikanten Trends sowohl im Kooperations- bzw. Beratungsgebiet als auch außerhalb (LANUV-Referenzmessstellen) besitzt. Die zuvor festgestellte heterogene Verteilung der Konzentrationen spiegelt sich auch in den Steigungen der Nitratentwicklung wider. Diese liegt in der Regel bei 0, reicht jedoch lokal von -1 bis 3 mg/l pro Jahr im Beratungsgebiet. Die einzige Grundwassermessstelle mit signifikant steigendem Trend ist die GWM 81 in der Nähe des HFB IV, die eine zeitlich gemittelte Konzentration von 80 mg/l aufweist. Der Steigungsbetrag liegt bei 2,4 mg/l pro Jahr. Die Ganglinie in Abbildung A 10.3.17 – 2 in Anhang 10.3.15 zeigt, dass der Konzentrationsverlauf starken Schwankungen unterlag. Nach einer rückläufigen Nitratentwicklung zwischen 2006 und 2009 von ca. 140 auf 30 mg/l folgte ein erneuter Anstieg auf das vorherige Konzentrationsniveau. Seit 2011 schwanken die Konzentrationen zwischen 100 und 150 mg/l. Die Referenzmessstellen zeigten hingegen keine Trends in der Nitratentwicklung.

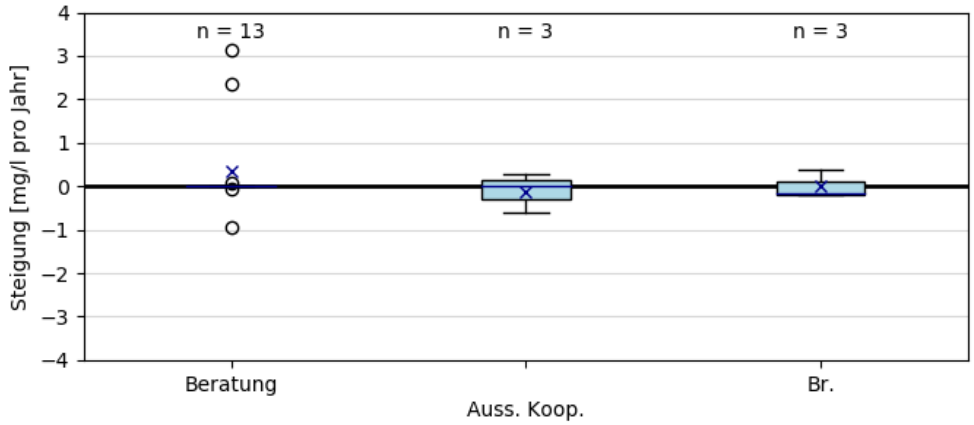


Abbildung 199: Statistischer Überblick zu Steigungen in der Nitratentwicklung im WSG Boker Heide

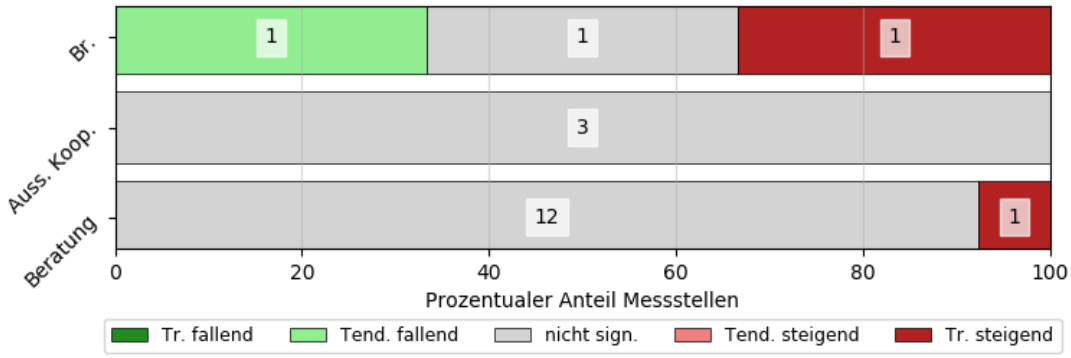


Abbildung 200: Überblick zur Signifikanz des Nitrattrends im WSG Boker Heide

Die Daten liegen für die Brunnen ab 1993 vor, wurden jedoch bei der Trendanalyse an die Zeiträume der Vorfeldmessstellen (2005 bis 2016) angepasst. Aus Abbildung 200 geht hervor, dass die Brunnen unterschiedliche Nitratentwicklungen aufweisen, deren Steigungsbeträge insgesamt jedoch gering ausfallen (-0,2 bis 0,4 mg/l pro Jahr). Der nordöstlichste Brunnen HFB I zeigt einen signifikant steigenden Trend mit 0,37 mg/l pro Jahr. Seit dem Jahr 2009 wird die Bestimmungsgrenze überschritten, sodass die Konzentrationen aktuell bei 5 mg/l liegen (s. Ganglinien im Anhang, Abbildung A 10.3.15 – 3). Der Zustrom des HFB I erfolgt aktuell ausschließlich landseitig (Schmidt & Partner 2017), daher liegt kein Einfluss oberirdischer Gewässer vor. Da die Vorfeldmessstellen, die die hydrochemischen Verhältnisse im nahen Zustrom abbilden, nitratfrei sind, ist der Konzentrationsanstieg womöglich auf den ferneren Zustrom aus nördlicher Richtung zurückzuführen. In diesem Gebiet liegen jedoch keine weiteren Daten vor.

Der Brunnen HFB II besitzt keine signifikante Entwicklung. Die Ganglinie der Nitratkonzentration schwankt zwischen 10 und 20 mg/l. Nach einem anfänglichen Anstieg auf 40 mg/l im Jahr 2008 zeigt der südwestliche Brunnen HFB IV eine fallende Tendenz mit -0,2 mg/l pro Jahr. 2016 lag die Konzentration bei ca. 20 mg/l. Da Wasserbeschaffenheit der Brunnen HFB II und HFB IV dem Einfluss des Uferfiltrats aus der Lippe mit Nitratgehalten von 20 bis 30 mg/l unterliegt, wird je nach Konzentrationsniveau im Grundwasser die Nitratkonzentration im Rohwasser durch das Uferfiltrat entsprechend erhöht oder verringert.

7.2.17.3 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Grundwasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Kooperation Boker Heide ist Teil einer kreisweiten Kooperation und existiert seit 1991. Sie zeichnet sich durch Beratungsarbeit aus. Dazu gehören u. a. N_{min}-Analysen als Beratungs- und Kontrollinstrument, die Erstattung des Saatgutpreises für den Zwischenfruchtanbau. Die Nitratgehalte und deren Entwicklung konnte im WSG für die brunnennahen Bereiche analysiert werden. Dieses ist in

der Regel gering bis mäßig (bis 30 mg/l) mit Nitrat belastet. Die Trendanalyse zeigte, dass keine flächendeckende gebietscharakteristische Nitratentwicklung vorliegt.

Im Einflussbereich von HFB II und HFB IV wurden im landseitigen Anstrom hochbelastete Grundwassermessstellen (GWM 43 und GWM 81) identifiziert, die auf hohem Konzentrationsniveau stagnierende bzw. signifikant steigende Trends aufwiesen. Aufgrund der Höhe der Konzentrationsniveaus und der Nähe zu den Brunnen sind die aktuellen Konzentrationen von jeweils 90 mg/l aus Sicht des vorsorgenden Grundwasserschutzes nicht tolerierbar. Es ist zu klären, welcher Dynamik die Nitratkonzentrationen (Eintragsfunktion, Abbau etc.) in den genannten Messstellen unterliegen. Da die Ursachenanalyse aufgrund der Größe der Zustromgebiete flächenhaft erfolgen muss, stellt das bereitgestellte Messnetz ein erhebliches Defizit dar. Für eine erfolgreiche Analyse der identifizierten Hot Spots müssen flach ausgebaute Grundwassermessstellen aus dem ferneren Zustrom hinzugezogen werden.

Die lokale Vorflut (Lippe) beeinflusst durch das Uferfiltrat in den Brunnen HFB II und HFB IV maßgeblich die Nitratkonzentration der Rohwässer. Entsprechend hat nicht nur die Bewirtschaftung im Wasserschutzgebiet, sondern im gesamten oberirdischen Einzugsgebiet, vor allem in ufernahen Bereichen einen Einfluss auf die Beschaffenheit der Rohwässer. Der Sachverhalt stellt damit potentielles Problem für den langfristigen Kooperationserfolg dar.

Das zur Verfügung gestellte Messnetz zur Bewertung der Kooperationsmaßnahmen ist für die dauerhafte Überwachung des Kooperationserfolges ungeeignet. Das brunnennahe Messnetz ist für eine flächendeckende Beurteilung der Kooperation nicht ausreichend. Eine Ausweitung und Verdichtung des Messnetzes sollte daher geprüft werden. Es sollten aufgrund des oben beschriebenen Sachverhalts Grundwassermessstellen hinzugezogen werden, die den fernen Zustrom im Wasserschutzgebiet und die Zustromgebiete der landwirtschaftlichen Flächen zwischen den Teilgebieten der Schutzzonen der Brunnen HFB II und HFB IV erfassen.

7.2.18 Stevertalsperre (Teileinzugsgebiet Funne)

7.2.18.1 Vorbemerkungen

Erläutert wurde bereits in Kap. 4.5.17, dass es in den letzten Jahren Hinweise auf Einträge von Nicosulfuron im Funne-Teileinzugsgebiet der Stever gab, die ursächlich dafür gewesen sein könnten, dass dieser Stoff in der Talsperre Haltern wiederholt gemessen worden waren. Dieser Umstand in Kombination mit der sehr guten Datenlage von Messwerten aus diesem Einzugsgebiet aufgrund des Pegels Hullern des LANUV (s. Abbildung 201), an dem wöchentliche Mischproben gewonnen werden, war der Grund für die Auswahl des Gebietes im Rahmen der Studie. Auch die von der Kooperation „Land- und Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Stevertalsperre“ unterstützte landwirtschaftliche Maßnahme zum Ersatz des Nicosulfuron durch den alternativ eingesetzten Stoff Foramsulfuron stützte die Auswahl. Es sollte der Versuch unternommen werden, diese Maßnahmen im Hinblick auf einen effektiven Gewässer- und Trinkwasserschutz zu evaluieren. Für den Wasserversorger (Gelsenwasser) bestand das große Problem bei Nicosulfuron darin, dass dieser Stoff – im Gegensatz zum Alternativstoff und auch zu den meisten übrigen PSM – nicht bzw. kaum an die eingesetzte Aktivkohle adsorbiert (Stever Kooperationsbericht 2012, S. 18).

Abbildung 201: Pegelstation des LANUV (links) sowie Maisanbau im Funne-Einzugsgebiet (rechts)

Einen Überblick zum Teileinzugsgebiet der Funne liefert die Karte in Anhang 10.2.16. Abbildung 202 zeigt zu dem Mischpegel an der Funne (zusammen mit anderen Mischpegeln im Stever-Einzugsgebiet) die in den Gewässern gemessenen Konzentrationen. Wiederholt kam es im Frühsommer jeweils zu massiven Konzentrationsanstiegen, vor allem 2012 war dies in der Funne mit Maxima bis über 1 µg/l kurzzeitig extrem ausgeprägt. Die Konzentrationsmaxima sind vor allem auf die landwirtschaftliche Nutzung, die hydrologischen Verhältnisse, die Geländeform (Hangneigung) und die Wasserführung der Gewässer (Verdünnung) abhängig.

Die Funne ist mit einer automatischen Probenahmevorrichtung ausgestattet. Diese dient zur Entnahme von Tagesmischproben, die im Labor zu Wochenproben vermischt werden. Bei Bedarf können kurzfristig Tagesmischpoben analysiert werden.

Zudem existiert in Form der - inzwischen auch online verfügbaren[28] - jährlich von der Kooperation herausgegebenen Berichte über die Ergebnisse der landwirtschaftlichen Beratung ein sehr guter Kenntnisstand zu den Gebietscharakteristika und den aktuellen Maßnahmen. Über „Sonderuntersuchungen zum Eintrag von Pflanzenschutzmitteln aus dem Funnegebiet“ berichtet z. B. der aktuell verfügbare Bericht der Kooperation aus 2018 (LWK 2019).

Ziel der Validierung war es, für das intensiv landwirtschaftlich genutzte Teileinzugsgebiet Funne die im Gewässer gemessenen Konzentrationen bzw. Frachten von Nicosulfuron und des Ersatzstoffes Foramsulfuron modelltechnisch nachbilden zu können, um damit Hinweise auf die maßgeblichen Einflussfaktoren des wasserwirtschaftlich problematischen Stoffeintrages in die Gewässer (Funne, Stever, Talsperre Haltern) zu erlangen und die Erfolge der Kooperation hinsichtlich dieser Maßnahme bewerten zu können.

[28] exemplarische download-Adresse für Bericht 2017: https://www.gelsenwasser.de/fileadmin/gelsenwasser_de/content/aus_verantwortung/koop_bericht_2017_web.pdf

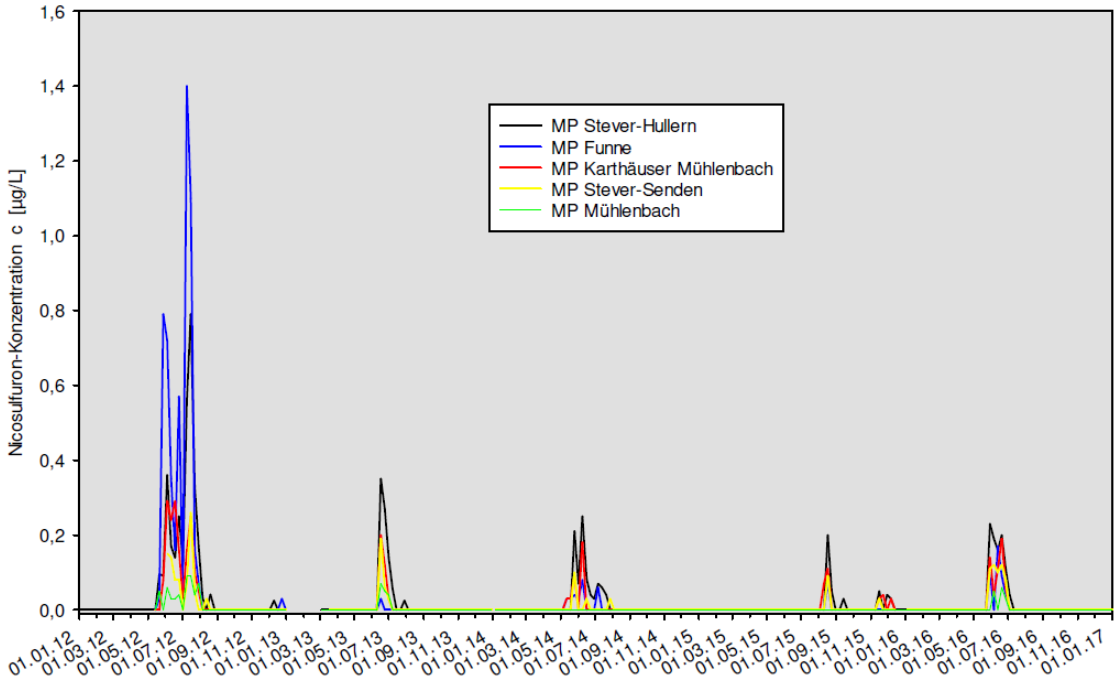


Abbildung 202: Nicosulfuron-Konzentrationen in oberirdischen Gewässern des Einzugsgebietes Talsperre Haltern

7.2.18.2 Physiko-chemische Eigenschaften von Nicosulfuron und Foramsulfuron

Bei der Bewertung des Umweltverhaltens von PSM-Wirkstoffen wird von IfW (2010) davon ausgegangen, dass ab einer Wasserlöslichkeit von über 30 mg/l ein Eintrag in das Grundwasser möglich ist. Insbesondere dann, wenn der Adsorptionskoeffizient K_{OC}, welcher die Verteilung zwischen organischem Kohlenstoff im Boden/Sediment und Wasser beschreibt, kleiner als 500 ist. Ebenso gelten Stoffe hinsichtlich ihrer Verlagerungstendenz als kritisch, wenn ihre Halbwertszeit („disappearance time“ dt_{50}) im Boden bei über 21 Tagen liegt.

Aus den verschiedenen Datenblättern zu PSM mit dem Wirkstoff Nicosulfuron stellt sich dieser als gut dispergierbar mit einem Adsorptionskoeffizienten von 21 und einer dt_{50} im Boden von 7 bis 46,3 Tagen bzw. im Wasser von 65 Tagen dar (Datenblatt Nicogan, 2017). Fischer et al (1999) geben eine Wasserlöslichkeit von 7.500 mg/l (20°C) und eine dt_{50} von 15 Tagen bei einem pH von 5 an. Liegen mit einem pH-Wert von 7 bis 9 eher neutrale bis basische Verhältnisse vor, beträgt die dt_{50} mehr als 30 Tage. Strek (2005) gibt 30 bis 50 Tage an. Storzer (2002) beschreibt den Abbau von Nicosulfuron als nur unvollständig. Demgegenüber bieten Sulfonylharnstoffe, zu denen Nicosulfuron gehört, eine große Wirksamkeit bei geringeren Aufwandsmengen und weniger Auswirkungen auf die Umwelt (Strek 2005).

Die Wasserlöslichkeit von Foramsulfuron liegt bei ca. 3.300 mg/l (EFSA 2016, EC 2002) bei pH 7 und 20°C. Der Stoff ist damit gut wasserlöslich, wodurch Einträge in oberirdische Gewässer und ins Grundwasser durch Lösungstransport möglich sind. Foramsulfuron gilt als schwach persistent mit einer im Labor ermittelten Abbaukonstante dt_{50} von 1,5 bis 13 Tagen (20 - 25°C) bzw. 21 Tage (10°C) unter aeroben Verhältnissen. Die europäische Aufsichtsbehörde EFSA gibt eine dt_{50} zwischen 1,8 und 82,0 Tagen (20°C, Lichtabschluss, aerob) an (EFSA, 2016), wobei das arithmetische Mittel bei 25,4 Tagen und der Median bei 20,1 Tagen. Dabei wurden zwölf Werte für verschiedene Bodenarten ermittelt.

7.2.18.3 Herbizideinsatz und Gewässereintragsfaktoren

Nicosulfuron wird als Gräserherbizid bei Mais angewendet und war bis 2012 der bevorzugte Wirkstoff zur Bekämpfung des stark verbreiteten Ackerfuchsschwanzes im Einzugsgebiet der Funne. Aufgrund der im Funne-Gebiet gegebenen lehmigen Bodenverhältnisse, der starken Hangneigungen und der Starkregenereignisse der Jahre 2011/2012 wurde ein verstärkter Eintrag von Nicosulfuron in die oberirdischen Gewässer konstatiert. Nach Anlaufen des Projektes zur Reduktion der Nicosulfuroneinträge

im Wassereinzugsgebiet der Funne waren die 2013 in der Funne gemessenen Konzentrationen bereits deutlich geringer (Stever Kooperationsbericht 2013[29]). Darin wurden die Beratungsempfehlungen zum Anwendungsverbot von Nicosulfuron nach Vorjahreseinsatz auf gleicher Fläche wiederholt und zugleich ein Förderprogramm aufgelegt, mit dem Anreize zur Verwendung alternativer Wirkstoffe oder zum Arbeiten mit Spritzfolgen geschaffen wurden. Zudem wurde das Untersuchungsprogramm im Einzugsbereich der Funne zeitlich und räumlich verdichtet. Dabei zeigten sich deutliche Belastungsschwerpunkte an den Zuflüssen zur Funne (Stever Kooperationsberichte 2014 und 2016).

Insgesamt gingen die Nicosulfuronkonzentrationen in der Funne zwar seit 2012 zurück, allerdings zeigten sich in den folgenden Jahren immer wieder Konzentrationsdurchbrüche. Abbildung 203 stellt für die Jahre 2010 bis 2016 die im Mischpegel Funne ermittelten Gehalte dar. Insbesondere für die Jahre 2014 und 2016 zeigen sich wiederholte Befunde. Diese erreichen zwar nicht die Maximalkonzentrationen von 2012, liegen aber 2016 oberhalb der zulässigen Höchstkonzentration (ZHK-UQN) der OGewV (2016) von 0,09 µg/l für Nicosulfuron.

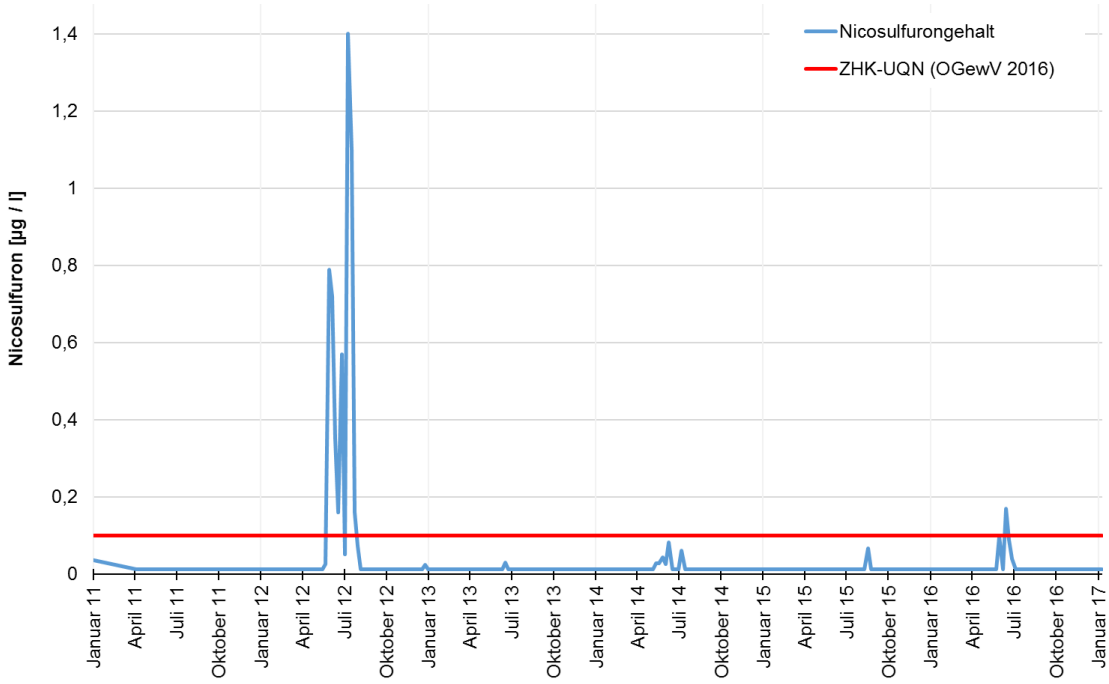


Abbildung 203: Nicosulfuron in Wasserproben des „MP Funne“ (Daten: Gelsenwasser)

Um den Trinkwassergrenzwert von 0,1 µg/l für PSM-Einzelwirkstoffe bzw. 0,5 µg/l für die Summe aller Wirkstoffe im Trinkwasser des Wasserwerks Haltern sicher einhalten zu können, wird dem Talsperrenwasser Aktivkohlepulver beigegeben, bevor es zur Grundwasseranreicherung entnommen wird. Umfangreiche Messungen im Einzugsgebiet der Talsperre stellen dabei sicher, dass eine mögliche PSM-Belastung im Vorfeld zeitnah erkannt und mit der Dosierung des Aktivkohlepulvers begonnen wird.

Der Anteil der Maisanbaufläche und auch des Folgemaisanbaus an der Ackerfläche im Einzugsgebiet der Funne ist im Vergleich zum Gesamtkooperationsgebiet und anderen Teileinzugsgebieten deutlich niedriger (Stever Kooperationsbericht 2012). Dass in diesem Gebiet dennoch das Eintragsrisiko für Nicosulfuron stark erhöht ist, liegt vor allem an den vorherrschenden geringdurchlässigen Bodenarten und der hängigen Geländemorphologie, die neben der Abflussentstehung vor allem die Fließgeschwindigkeit von Oberflächenabfluss und ggf. das Erosionspotential begünstigen. Insgesamt befinden sich 75% der Maisfläche nahe an Gewässern, davon 61% in einer Entfernung von maximal 100 Metern. Entlang der Fließgewässer zeigt sich ein hoher Anteil an Tonböden mit hohen pH-Werten.

[29] exemplarische download-Adresse für Bericht 2017: https://www.gelsenwasser.de/fileadmin/gelsenwasser_de/content/aus_verantwortung/koop_bericht_2017_web.pdf

Abbildung 204 zeigt den Zeitpunkt der Spritzung in Abhängigkeit der Maisgröße und des Unkrautdrucks. Je geringer letzterer, desto später können die Herbizide aufgebracht werden. Die Maisaussaat erfolgt zumeist etwa Mitte April, die Herbizidbehandlung richtet sich nach dem Unkrautdruck und erfolgt bis Ende Mai / Anfang Juni. Bei einer Splittung der Herbizidaufbringung wird die gesamt zulässige Aufwandmenge pro Wirkstoff entweder geteilt oder es werden verschiedene Wirkstoffe aufgebracht. Die hohen Gehalte in der Funne werden Starkregenereignissen zugeschrieben, bei denen das gut wasserlösliche Nicosulfuron aufgrund der hängigen Geländemorphologie in die oberirdischen Gewässer eingetragen wird. Erfahrungen der Kooperation sehen Niederschläge, die zu Wasserabflüssen an der Stever von über 5 m³/s führen, als intensiv genug an, um Herbizideinträge durch Oberflächenabfluss zu begünstigen. Für 2011 und 2010 wurden Einträge bedingt durch Oberflächenabfluss wegen des Witterungsverlaufs als unwahrscheinlich angesehen (Stever-Bericht 2012).

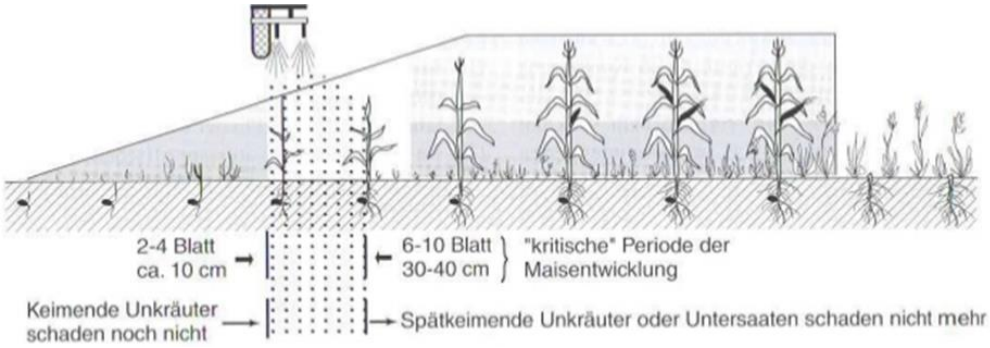


Abbildung 204: Zeitpunkt des Herbizideinsatzes (Quelle: LfL Bayern)

In den weiter zurückliegenden Jahren wurde das Rohwasser nicht auf Nicosulfuron, Rimsulfuron und Foramsulfuron untersucht. Die Einträge in den Jahren 2014 und 2016 werden mit Starkregenereignissen bzw. durchgängig hohen Niederschlägen unmittelbar nach der Applikation der Herbizide begründet. Zudem wird in 2016 die Wasseraufnahmefähigkeit der Böden als gering eingestuft, wegen der fehlenden Frostgare im Winter und der nicht ausreichend beseitigten Verdichtungen vom Vorjahr.

7.2.18.4 Auswertung des Konzentrationsverlaufs unter den hydrologischen Rahmenbedingungen

Die Niederschlagshöhen der DWD-Wetterstation Lüdighausen-Brochtrup in ca. 8 km Entfernung sind in Abbildung 205 dargestellt. Diese sind den in der Funne ermittelten Abflüssen gegenübergestellt.

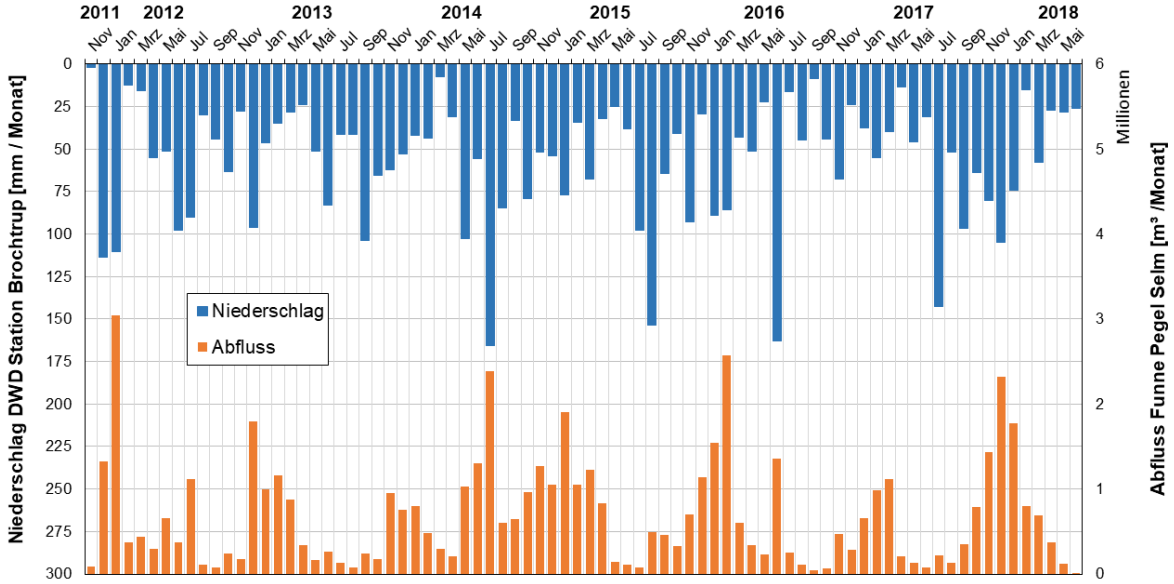


Abbildung 205: Gegenüberstellung Niederschlagsmengen (Station Lüdinghausen-Brochtrup) und Abflüsse der Funne von 2011 bis 2018 (Daten: DWD und Gelsenwasser)

Insgesamt zeigt sich eine gute Korrelation zwischen beiden Größen, d. h. ein höherer Abfluss bei höheren Niederschlägen. Allerdings trifft dies nicht immer zu, wie z. B. im September 2013, Juli 2015, Januar 2016 und im Juli 2017 zu erkennen. Dabei spielen unterschiedliche Faktoren eine Rolle. Zum einen können durch die Entfernung zur Wetterstation kleinräumige Änderungen in der Niederschlagsverteilung nicht gezeigt werden. Dieser Faktor ist vor allem bei kleinräumigen Starkregenereignissen zu berücksichtigen. Zum anderen beeinflusst die Vegetation das Abflussverhalten, vor allem durch die Evapotranspiration.

Ein Eintrag von Herbiziden in die Gewässer kann erst nach den Spritzungen im Mai erfolgen. In 2010 und 2011 erfolgten anlassbezogene Probenahmen der Funne; erst aus dem Auffinden der hohen Nicosulfurongehalte im Jahr 2012 resultierte eine kontinuierliche wöchentliche Probenahme ab März 2013. Nach den Nicosulfuron-Funden sollte der Wirkstoff substituiert werden. Nachdem Rimsulfuron aufgrund von Wirksamkeitslücken nicht überall eingesetzt werden konnte und deshalb ab 2014 auch nicht mehr gefördert wurde, blieb nur der Wirkstoff Foramsulfuron als Alternative zu Nicosulfuron. Nach Änderung der Formulierung zur Erhöhung der Maisverträglichkeit und der Verbesserung der Kombinierbarkeit wurde Foramsulfuron in deutlich größerem Umfang eingesetzt (Kooperationsbericht 2016).

Abbildung 206: Oberflächenabfluss nach Starkregen am 20.6.2013 in Südkirchen (LWK 2013)

Abbildung 207 zeigt - zur Vermeidung der Darstellung kurzzeitigerer, also wöchentlicher Spitzenbelastungen - monatlich aggregierte Mittelwerte von Nicosulfuron, Foramsulfuron, den Niederschlag in Lüdinghausen-Brochtrup und die Abflüsse in der Funne. In 2012 stiegen die Werte bis auf mehr als 0,5 µg/l im monatlichen Mittel (die wöchentlichen Spitzenwerte reichten bis 1,4 µg/l, s. Abbildung 203). In den Folgejahren sanken die Monatswerte von Nicosulfuron wieder deutlich und lagen bis 2016 durchgehend unterhalb von 0,1 µg/l. Die Konzentration von Foramsulfuron hingegen erhöhten sich aufgrund der Einführung als Substitution für Nicosulfuron nach 2012 zwar geringfügig, lagen jedoch auch stets unterhalb von 0,1 µg/l.

Abbildung 208 zeigt den Rückgang von Nicosulfuron bei den Einzelmessungen in den verschiedenen Jahren. Zur besseren Übersichtlichkeit ist wegen der hohen Maximalkonzentrationen 2012 die Skala der Ordinatenachse in der Dimension zweigeteilt. Damit sind die relativ niedrigen Funde der Folgejahre erkennbar. Abbildung 209 zeigt die entsprechenden Konzentrationen für Foramsulfuron.

Die Funde erreichen zwar nicht die hohen Konzentrationen von Nicosulfuron, überschreiten aber dennoch den Wert von 0,1 µg/l für PSM-Einzelwirkstoffe im Trinkwasser. Mit Hilfe der Aktivkohlepulver-Dosierung wurde der Trinkwassergrenzwert für PSM aber sicher eingehalten. Sowohl in Abbildung 208 als auch in Abbildung 209 zeigt sich in 2016 eine Überschreitung des ZHK-UQN. Dennoch liegt die Summe beider Wirkstoffe mit etwa 0,4 µg/l deutlich unter der Maximalkonzentration von 2012 mit 1,4 µg/l.

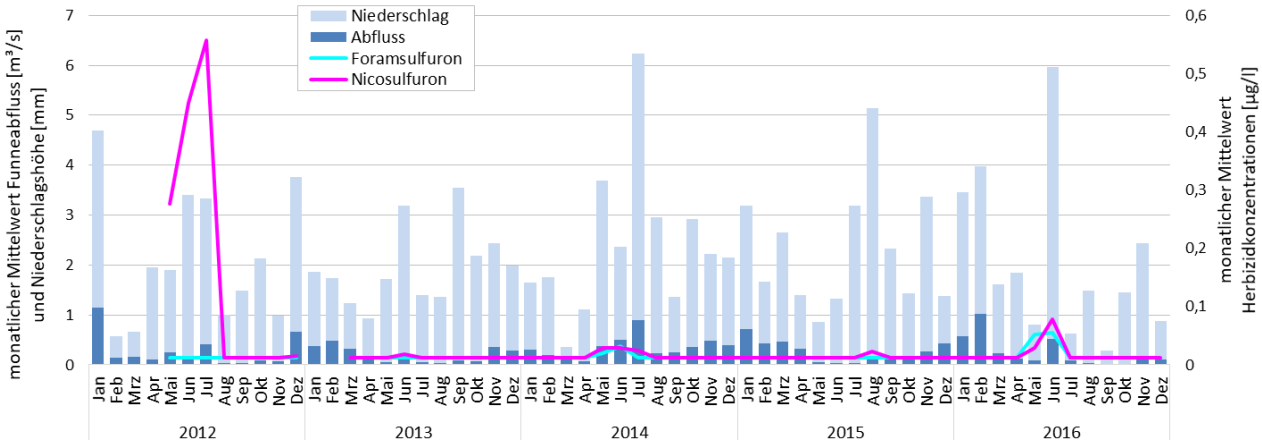


Abbildung 207: Darstellung der monatlichen Mittelwerte der in der Funne gemessenen Herbizid-Konzentrationen im Vergleich mit Niederschlags- und Abflussmengen in der Funne

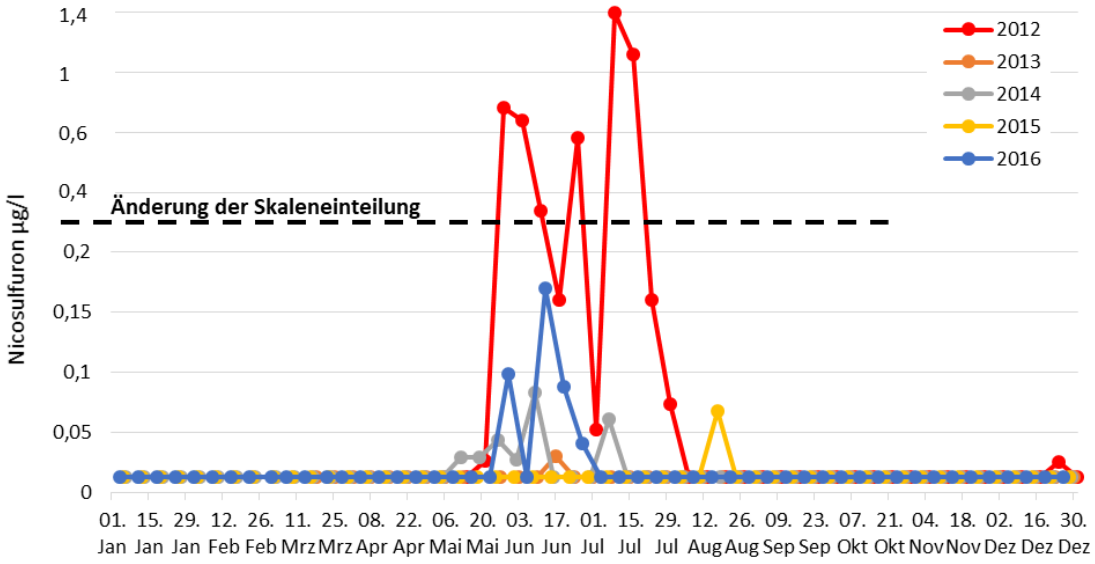


Abbildung 208: Nicosulfuron-Konzentrationen 2012 bis 2016 im Mischpegel Funne

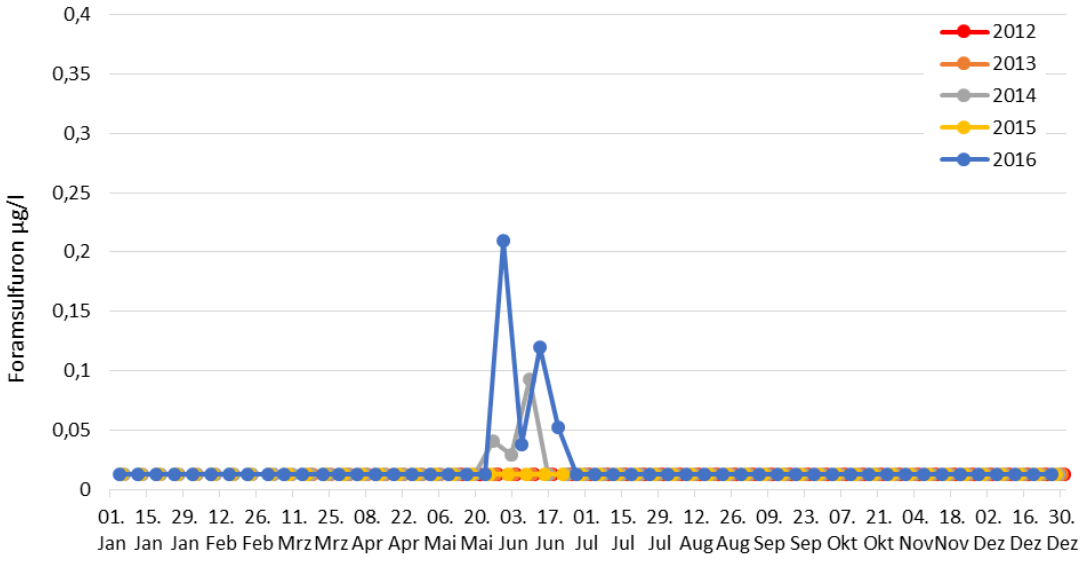


Abbildung 209: Foramsulfuron-Konzentrationen 2012 bis 2016 im Mischpegel Funne

7.2.18.5 Simulation des Eintrags von Herbiziden in die Funne durch Starkregenereignisse

Die Ergebnisse der durchgeführten Simulation auf Basis der ermittelten Modellparameter sind in Abbildung 210 dargestellt. Die täglichen Werte sind als blaue Kurve und die wöchentlichen Messungen als rote Kreise dargestellt. Zur Plausibilisierung sind ebenfalls die Tagesniederschläge aufgetragen.

Insgesamt zeigen die berechneten Nicosulfuron-Frachten hinsichtlich der Größenordnung von maximal 0,1 mg/s plausible Ergebnisse im Vergleich zu den tatsächlichen Messwerten. Die Tendenzen des Frachtverlaufs, d. h. Anstieg und Abfallen der Kurve, stimmen mit den Messergebnissen ebenfalls weitestgehend überein. Gemessene Frachten konnten auch im Einzelfall hinreichend simuliert werden, z. B. für den 4. und 25. Juni sowie den 9. Juli 2012 (s. Abbildung 210). Der Höchstwert von ca. 1 mg/s am 16. Juli konnte in seiner Größenordnung durch die Abschätzung nicht erreicht werden. Mögliche Erklärungen sind unberücksichtigte Transportmechanismen, z. B. Zwischenabfluss, Sorption, Stoffrückhalt bzw. -akkumulation in Mulden. Abgesehen davon zeigt die Abschätzung jedoch plausible Ergebnisse. Folglich bestätigt die Berechnung das konzeptuelle Modell des Nicosulfuron-Transportes durch Oberflächenabflüsse infolge von Starkregenereignissen im Funne-Einzugsgebiet.

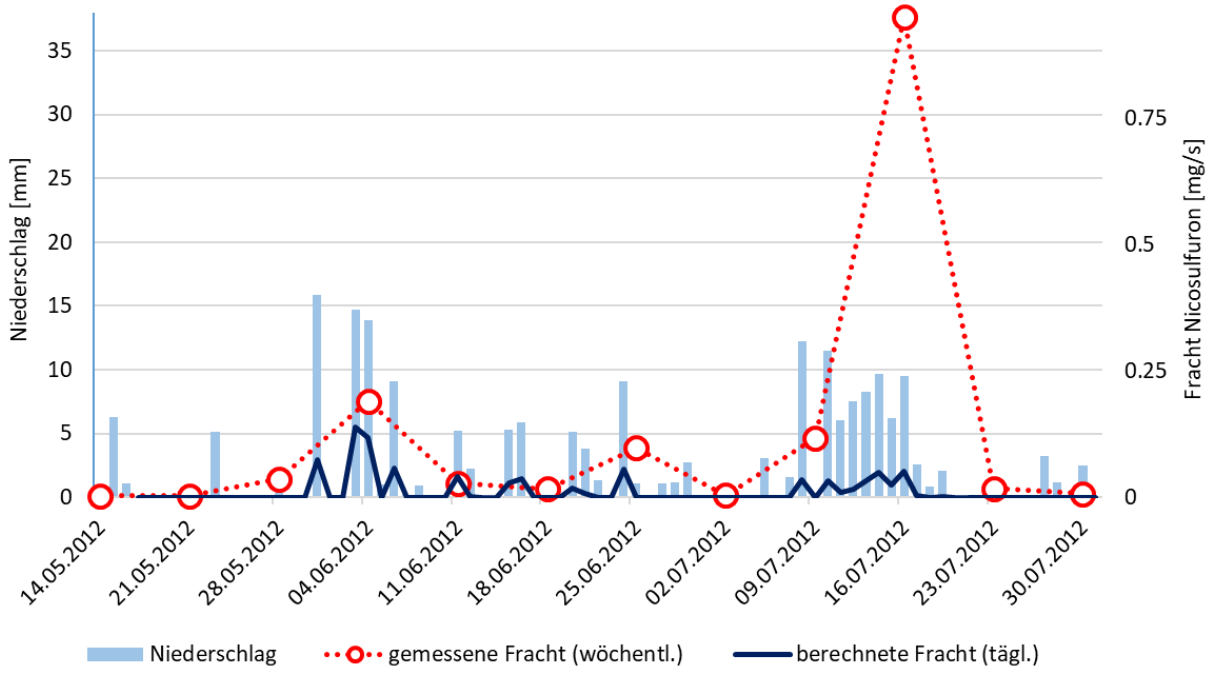


Abbildung 210: Tägliche Niederschläge (RADOLAN RW) und berechnete / gemessene Frachten 2012 beim Einsatz von 40 g/ha Nicosulfuron

Weiterhin sind Auffälligkeiten bei den täglich simulierten Frachten in den Zeiträumen zwischen den wöchentlichen Messungen (Wochenmischproben aus Tagesmischproben) festzustellen. Durch die Abschätzung werden lokale Spitzenwerte der Nicosulfuron-Fracht simuliert, z. B. Mitte Juni, die durch die wöchentlichen Mischproben nicht abgebildet werden. Einerseits ist die Existenz dieser Konzentrationsspitzen aufgrund fehlender Nachweise in Frage zu stellen, andererseits deutet die tägliche Abschätzung der Frachten darauf hin, dass die Bildung von Wochenmischproben für den vorherrschenden schnellen Transportmechanismus durch Oberflächenabfluss unter Umständen nicht ausreichend ist. Es ist wahrscheinlich, dass zwischen den Messintervallen noch höhere als die gemessenen Konzentrationen bzw. Frachten auftreten.

7.2.18.6 Validierung und weitergehende Berechnungen

Zur Validierung wurden für ein weiteres Jahr die berechneten Nicosulfuron-Frachten den gemessenen Werten gegenübergestellt. Im Juni 2016 fanden zahlreiche Regenereignisse mit Tagesniederschlägen von bis zu 35 mm und teilweisen Starkregen mit zu erwartenden hohen Anteilen an Oberflächenabfluss im Einzugsgebiet der Funne statt. Daher sind hohe Transportkapazitäten und entsprechend hohe Nicosulfuron-Frachten wahrscheinlich. Der Monat Juni war der regenreichste im gesamten Jahr 2016 mit ca. 160 mm.

In Tabelle 13 sind die Flächenanteile der Maisschläge aufgeführt, auf denen von 2013 bis 2016 Nicosulfuron durch andere Herbizide substituiert wurde. Der Anteil war 2013 noch bei 72%, sank im Folgejahr auf ca. 41% und lag im Jahr 2016 bei 36%. Der maximale Flächenanteil an Maisschlägen, auf denen Nicosulfuron angewendet wurde, beträgt also 64%. Es ist aber fraglich, ob alle Landwirte 2016 Nicosulfuron einsetzten, da der Stoff nur alle zwei Jahre aufgebracht werden darf. Folglich kann der Flächenanteil von Nicosulfuron weit geringer sein.

Tabelle 13: Übersicht zu Maisflächen im gesamten Funnegebiet sowie dem Anteil der Flächen, bei denen alternative Herbizide aufgebracht werden (Stever Kooperationsbericht 2017)

	2013	2014	2015	2016
Maisfläche Funnegebiet (ha)	975	1047	1302	1084
Nicosulfuron-Alternative (ha)	702	425	424	393
Flächenanteil Nicosulfuron-Alternativen (%)	72	41	33	36

In Abbildung 211 zeigen sich erneut qualitative Übereinstimmungen der steigenden Tendenzen der Nicosulfuron-Fracht ab etwa Mitte Juni und den fallenden Werten Ende Juni. Die Frachten zu den Messzeitpunkten wurden jedoch teils um ein Vielfaches verfehlt, z. B. am 30. Mai oder am 20. Juni 2016. Trotz qualitativer Übereinstimmungen zeichnen sich Unschärfen ab, die möglicherweise auf den tatsächlich unbekannten Flächenanteil mit Nicosulfuroneinsatz zurückzuführen ist.

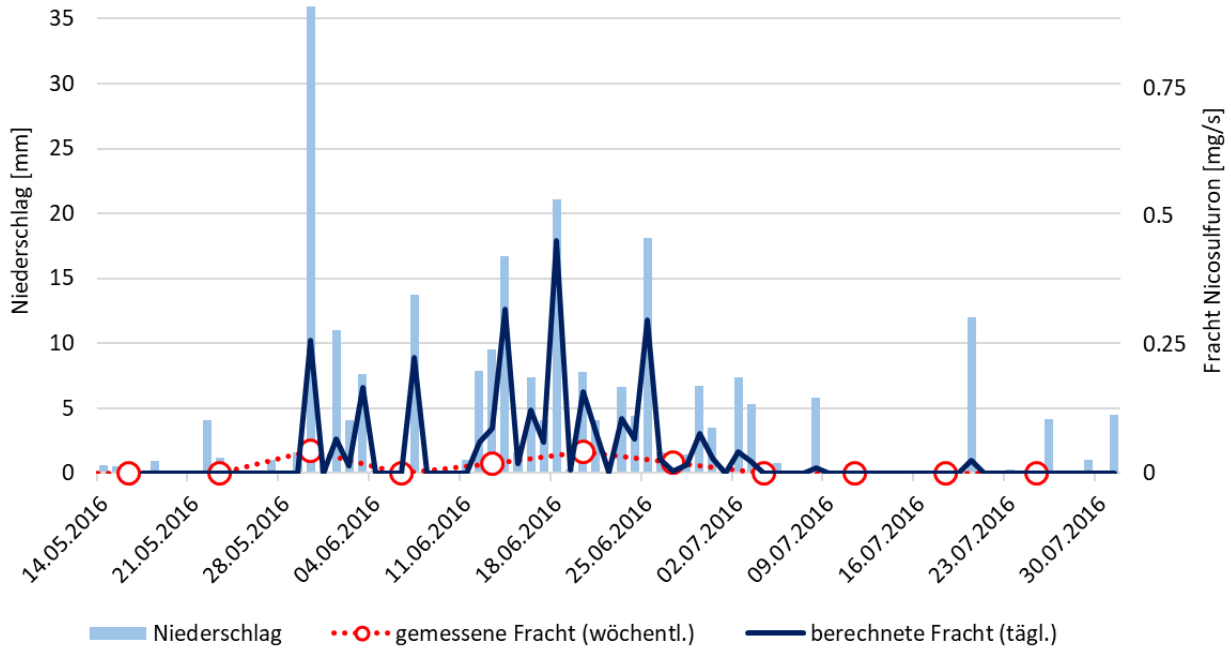


Abbildung 211: Tägliche Niederschläge (RADOLAN RW) und berechnete / gemessene Frachten 2016 bei Aufbringung von 40 g/ha Nicosulfuron auf 64% der Maisflächen

In Abbildung 212 wurde die Abschätzung der Frachten für Foramsulfuron durchgeführt. Dieser Stoff gewann als Nicosulfuron-Substitut nach 2012 an Bedeutung. Es ist davon auszugehen, dass dieser Stoff im Jahr 2016 auf den Flächen eingesetzt wurde, die mit einer Nicosulfuron Alternative behandelt wurden. Der Flächenanteil beläuft sich hier auf 36%. Es zeigt sich, dass ein höherer Grad an Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Frachten erreicht wird als bei Nicosulfuron, vor allem zu den Messzeitpunkten am 30. Mai und am 20. Juni (s. Abbildung 212). Die Validierung zeigt für diesen Wirkstoff also größeren Erfolg.

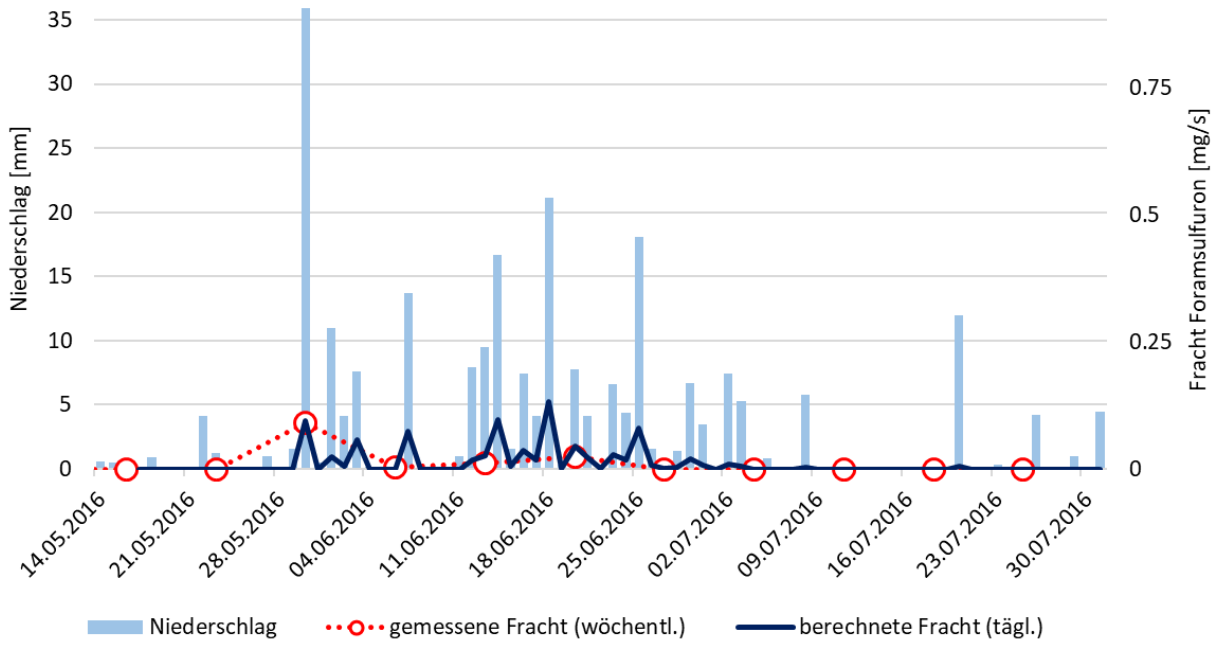


Abbildung 212: Tägliche Niederschläge (RADOLAN RW) und berechnete / gemessene Frachten 2016 bei Aufbringung von 30 g/ha Foramsulfuron auf 36% der Maisflächen

Anhand des Modells wurden aufgrund von Tagesniederschlägen von 17 bis über 20 mm am 14. und 18. Juni 2016 im Einzugsgebiet der Funne Spitzenfrachten von etwa 0,1 und 0,13 mg/s geschätzt. An diesen Tagen betrugen die mittleren Tagesabflüsse jeweils 0,45 und 1,86 m^3/s, weshalb Konzentrationen von 0,22 und 0,05 µg/l Foramsulfuron in der Funne zu erwarten wären. Solche Frachtspitzen wurden anhand des Modells im Mai und Juni 2016 etwa sechs Mal erzeugt, jedoch korrelierten nicht alle mit den Konzentrationen der gemessenen Wochenmischproben. Einer dieser Höchstwerte korrelierte mit der Messung vom 30. Mai (ca. 0,2 µg/l) und zeigte bezüglich der Fracht eine gute Übereinstimmung.

7.2.18.7 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der im Jahr 2012 nachgewiesenen hohen Konzentrationen von Nicosulfuron im oberirdischen Gewässer der Funne war die Substitution des leicht wasserlöslichen und schwer an Aktivkohle adsorbierbaren Herbizids erforderlich, um die Trinkwassergewinnung im Wasserwerk Haltern nicht zu gefährden. Grundsätzlich bleibt das Gefährdungspotential für die Gewässer durch den Stoffeintrag infolge von Starkregenereignissen bestehen, da infolge der klimatischen Veränderungen mit einer Zunahme dieser Ereignisse zu rechnen ist. Die von der Kooperation eingeleiteten Maßnahmen bilden dabei die Grundlage für mögliche Anpassungsstrategien der landwirtschaftlichen Praxis.

Am Beispiel der Nicosulfuron-Substitution durch Foramsulfuron wurde gezeigt, dass das Ersatzherbizid zwar zu einer Verringerung, aber nicht zwangsläufig zu einer kompletten Vermeidung einer PSM-Belastung in oberirdischen Gewässern führt. In den Jahren nach der Einführung des Ersatzherbizids Foramsulfuron wurden wesentlich weniger häufig Konzentrationsspitzen >0,1 µg/l nachgewiesen, obgleich vergleichbare hydrologische Verhältnisse, z. B. im Jahr 2016, herrschten. Dennoch erfolgten im Jahr 2016 zweifach messtechnische Nachweise der Überschreitung von 0,1 µg/l jeweils für das Ersatzherbizid Foramsulfuron und für das teilweise ersetzte Herbizid Nicosulfuron.

Durch die Substitution war eine Zunahme der Konzentrationen des Ersatzwirkstoffes Foramsulfuron zu erwarten. Neu eingeführte Gräserwirkstoffe sollten in Hinblick auf den Gewässerschutz vor allem gut an den Boden adsorbieren und eine geringe Halbwertszeit aufweisen. Im Zuge der Zunahme unwetterartiger Niederschläge und der damit verbundenen Zunahme des Eintragsrisikos von Herbiziden in oberirdische Gewässer gewinnen diese physiko-chemischen Eigenschaften zusätzlich an Bedeutung.

Die PSM-Frachten wurden mittels eines vereinfachten Stoffbilanzmodells nachgebildet und validiert. Demnach sind die hydrologischen Verhältnisse bei Extremereignissen maßgebend für die Gewässerbelastung mit den PSM-Wirkstoffen Nicosulfuron und Foramsulfuron. Das eingesetzte, vereinfachte Modell zur Abschätzung von Stoffbilanzen deutet an, dass kurzfristige Spitzenfrachten je nach hydrometeorologischen Verhältnissen mehrfach wöchentlich auftreten können, deren detaillierte Erfassung jedoch aufgrund des Mischungscharakters der Wochenmischproben begrenzt ist. Dies kann durch Analyse der Rückstellmuster der Tagesmischproben nachgeholt werden und sollte vor allem bei Hochwasser- bzw. Stark- und Dauerregenereignisse erfolgen.

Die Identifikation des ursächlichen Mechanismus durch das vereinfachte Stoffbilanzmodell erleichtert die Entwicklung von Lösungsstrategien im Rahmen der gewässerschonenden Landwirtschaft. Auf Grundlage der Ursachenanalyse sollten Maßnahmen ergriffen werden, die die Entstehung von Oberflächenabfluss hemmen (Erhöhung der Bodeninfiltration), damit der PSM-Eintrag durch Lösungstransport minimiert wird. Zudem können Maßnahmen, die die entstandenen Oberflächenabfluss „bremsen“, dazu führen, dass der partikelgebundene Eintrag aufgrund verminderter Erosionswirkung begrenzt wird, z. B. durch Verlängerungen der Fließwege zur Reduzierung der Abflussgeschwindigkeit. Hierzu wurde durch die Kooperation bereits eine Bandbreite an sinnvollen Maßnahmen eingeführt. Das Anlegen von Uferrandstreifen bzw. von Gewässerschutzstreifen als zentraler Bestandteil der Förderbausteine der Kooperation wird von den Flächenbewirtschaftern bereits seit Jahren gut angenommen und durch die Beratung weiter vorangetrieben. Diese können zwar den Eintrag von Nicosulfuron wegen der geringen Adsorptionsneigung nur in begrenzten Umfang verringern, aber für andere Wirkstoffe gute Ergebnisse erzielen.

Eine weitere ackerbauliche Maßnahme, die ebenfalls Teil der Fördermaßnahmen ist, ist die konservierende (pfluglose) Bodenbearbeitung, z. B. bei der Streifensaat („strip till“). Cesarz et al (2006) beschreiben positive Erfahrungen bei der pfluglosen Bodenbearbeitung hinsichtlich einer erhöhten Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens. Das Niederschlagswasser kann deutlich besser infiltrieren und der oberirdische Abfluss wird verringert. Die konservierende Bodenbearbeitung steht allerdings im unmittelbaren Zusammenhang mit PSM-Wirkstoffen, z. B. Glyphosat. Ein Verbot würde eine verstärkte Bodenbearbeitung erfordern.

Ebenso wird das Mulchsaatverfahren gefördert, bei dem eine Durchmischung von Boden und Ernterückständen in unterschiedlichen Tiefen und damit die Schaffung einer raueren Oberfläche erfolgt. Im hydrologischen Kontext wird dadurch die Infiltrationskapazität erhöht sowie die Abflussgeschwindigkeit reduziert und damit auch das Erosionspotential verringert. Bei der Mulchsaat sollte allerdings sichergestellt werden, dass der Bodenbedeckungsgrad bei mindestens 30 % liegt, um eine ausreichende abflussmindernde Wirkung zu gewährleisten. Durch eine nachträgliche Saatbettbereitung wird der Bedeckungsgrad reduziert, wodurch die hydrologische Wirkung des Mulchsaatverfahrens stark gemindert wird. Eine Kopplung dieses Förderbausteins an Bedingungen, z. B. einen Mindestbedeckungsgrad, wäre sinnvoll.

Perspektivisch kann die teilweise Extensivierung von Flächen im Funnegebiet eine weitere Option sein, die Einträge von Pflanzenschutzmitteln zu verringern. Der Fokus sollte dabei auf gewässernahen Schlägen liegen, die abflussfördernde Eigenschaften besitzen, z. B. große Hangneigungen. Dazu bedarf es allerdings einer schlagspezifischen Gefährdungsanalyse, um zu gewährleisten, dass die Flächen mit dem höchsten Eintragspotenzial extensiviert werden. Zudem wäre ein attraktiver finanzieller Ausgleich erforderlich. Die Erfassung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses der Extensivierung gestaltet sich damit als kompliziert.

7.2.19 Kerspetalsperre

Das Einzugsgebiet der Kerspetalsperre ist überwiegend durch Wald und Grünland geprägt. Zur Bewertung der Nährstoffgehalte, insbesondere Nitrat, stehen 16 Pegel an oberirdischen Gewässern, an denen die Zuflüsse in die Kerspetalsperre überwacht werden, mit ausreichender Datenlage zur Verfügung. Die Lage der Pegel geht aus der Karte in Anhang 10.2.17 hervor. Durch die Pegel werden Teileinzugsgebiete definiert. Die Gebiete KB01 – KB16 sind durch Wald und Landwirtschaft, vorwiegend Grünland, gekennzeichnet, während die Teil-EZG KB21 – KB33 primär städtisch geprägt sind.

7.2.19.1 Nährstoffe und Entwicklung der Nitratkonzentrationen in oberirdischen Gewässern

Im Durchschnitt liegt der pH-Wert der Zuflüsse in die Kerspetalsperre mit 7,4 im neutralen bis schwach basischen Bereich und der Sauerstoffgehalt erreicht 10,5 mg/l. Der Gehalt an gelöstem reaktivem Phosphor (o-PO4-P) liegt bei durchschnittlich 13 µg/l. Die über alle Zuflüsse und Messzeitpunkte gemittelten Konzentrationen der Stickstoffspezies Nitrit, Nitrat und Ammonium weisen Werte von jeweils 0,036 mg/l, 13,8 mg/l und 0,054 mg/l auf. Zeitweise werden Nitratmaxima von bis zu 50 mg/l in den Zuflüssen erreicht, unabhängig davon, ob die Landwirtschaft oder Siedlung im Gebiet dominiert.

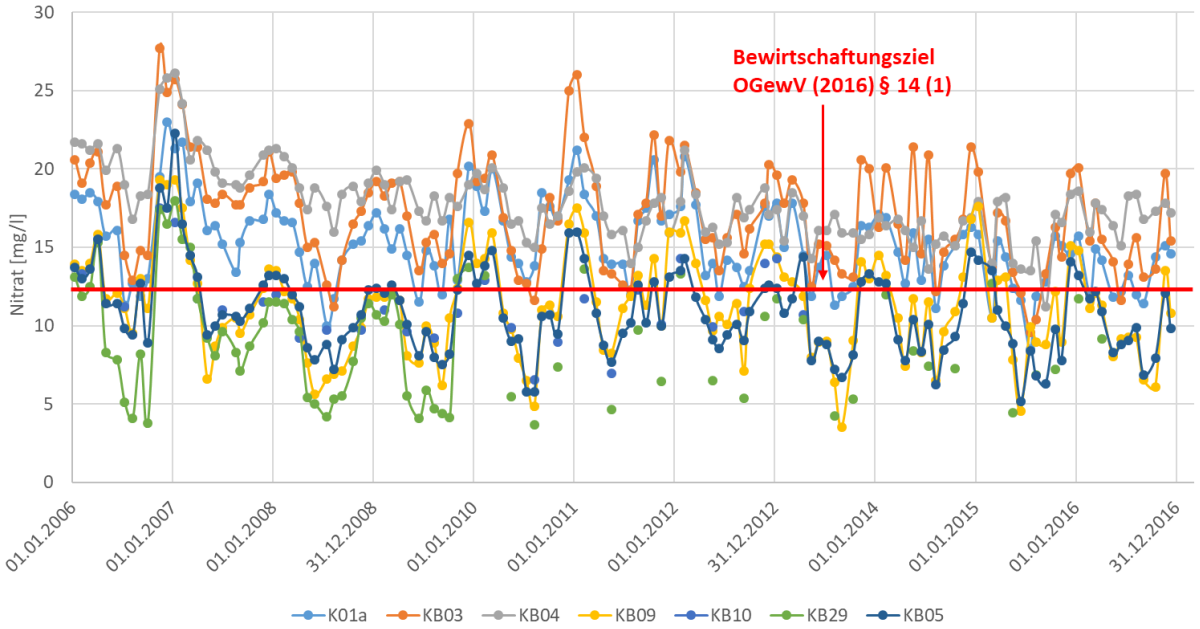


Abbildung 213: Zeitliche Entwicklung der Nitratwerte in den Pegeln der Zuflüsse zur Kerspetalsperre

Die Gewässergüteklasse der Kerspetalsperre wird damit maßgeblich durch den Parameter Nitrat bestimmt. Nach dem limnologischen Jahresbericht 2017 hielten nur 6 von 16 bepropten Zuflüssen den Wert von 11 mg/l Nitrat für die Gewässergüteklasse II („guter Zustand“) ein (bwl 2018). Abbildung 213 zeigt die Ganglinien der Nitratkonzentrationen für den Zeitraum 2006 bis 2016, vor allem für die Teileinzugsgebiete, die durch Landwirtschaft geprägt sind.

Insgesamt liegen alle Teileinzugsgebiete auf einem geringen Konzentrationsniveau. Zudem kann eine geringe, aber kontinuierliche Abnahme der Konzentrationen in allen Teileinzugsgebieten festgestellt werden (s. Abbildung 213). Bei KB01 sank die Konzentration von etwa 17 mg/l (2006) auf 13 mg/l (2016). Der Nitratgehalt fiel bei KB03 von 18 mg/l auf 15 mg/l. Ähnliche Ergebnisse sind bei KB04 zu verzeichnen. KB09 erreichte temporär das Bewirtschaftungsziel der OGewV (2016), indem sie im Jahr 2016 Konzentrationen von etwa 10 mg/l aufwies. Dabei waren hier bereits im Jahr 2006 nur 12,5 mg/l Nitrat zu verzeichnen. Insgesamt wurden in einem Zeitraum von zehn Jahren Konzentrationsabnahmen zwischen 2 und ca. 5 mg/l festgestellt. Bezogen auf den Gesamtzeitraum lagen die Konzentrationen jedoch größtenteils auf einem Niveau von 10 bis 15 mg/l.

In den Ganglinien sind jahreszeitliche Schwankungen zu verzeichnen, die hohe Nitratkonzentrationen in den Wintermonaten und geringe Gehalte im Sommer zeigen. Die Nitratgehalte sind in den von

Grünland geprägten Einzugsgebieten vor allem den hydrometeorologischen Verhältnissen, dem Düngeverhalten und der Vegetationsphase unterworfen. Die daraus resultierenden Schwankungen zeichnen sich durch relativ starke Regelmäßigkeiten hinsichtlich der Amplituden und Frequenzen aus. Aus diesem Grund wird eine lineare Regression als geeignetes Mittel gesehen, um die Trends der Ganglinien zu quantifizieren.

In Anhang 10.2.17 ist die Signifikanz der Trends aufgeführt. Diese sind bei den landwirtschaftlich geprägten Teilgebieten ausnahmslos signifikant fallend. Ähnlich verhalten sich die Ganglinien der städtisch geprägten Teilgebiete, jedoch mit einigen Ausnahmen ohne signifikante Entwicklung der Nitratkonzentrationen (KB21, KB26, KB27, KB32).

7.2.19.2 Jährliche und monatliche Nitratfrachten in Teileinzugsgebieten (TEZG)

Anhand der Konzentrationen allein können noch keine Aussagen zur Nitratbilanz getroffen werden. Eine Fracht bezieht hingegen den Volumenstrom des oberirdischen Gewässers ein und beschreibt, welche Menge Nitrat das Einzugsgebiet über das offene Gerinne in einem bestimmten Zeitintervall verlässt. In Abbildung 214 sind die Abflüsse der analysierten Teileinzugsgebiete dargestellt. Es zeigt sich, dass sich das Abflussverhalten der Gebiete stark ähnelt. Die mittleren Abflüsse liegen in der Größenordnung 0,05 bis 0,1 m^3/s. Spitzenabflüsse erreichen bis zu 1 m^3/s. Die Jahreswerte der Frachten mit entsprechenden Streuungen in einzelnen Monaten sind in Abbildung 215 als sog. „Boxplots“ auf der Primärachse dargestellt. Zudem stehen auf der Sekundärachse (graue Säulen) die Anteile der Flächen, auf denen die Düngung nach Erreichen des T200-Kriteriums durchgeführt wurde.

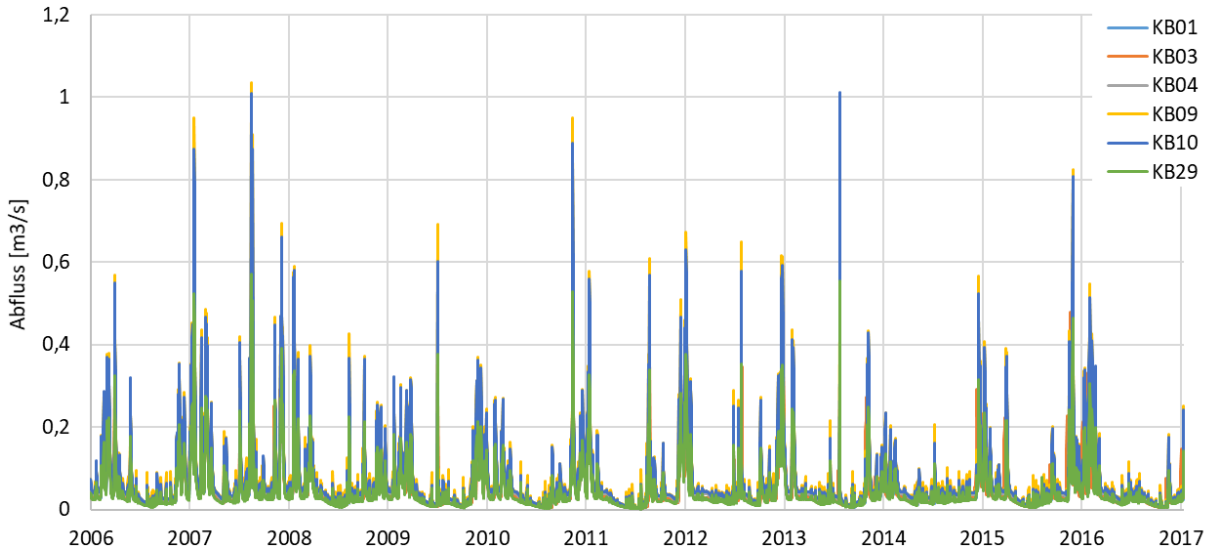


Abbildung 214: Stündliche Abflüsse in den Zuflüssen zur Kerspetalsperre von 2006 bis 2016

Die Anteile beziehen sich auf die gesamte landwirtschaftliche Fläche im Teileinzugsgebiet. Prinzipiell lassen sich zwei Gruppen mit jeweils hohem (KB03 und KB09) und niedrigem Anteil (KB01 und KB04) an Grünlandflächen mit Einhaltung des T200-Kriteriums unterscheiden. KB01 und KB04 erreichten Anteile von maximal 30% und zeigen insgesamt eine relativ geringe Teilnahme an der Maßnahme, während die T200-Anteile der Gebiete KB03 und KB09 über stabile Zeiträume von 5 bis 8 Jahren 35 % bis 50% erreichten.

Die Mediane der Nitratfrachten liegen meist zwischen 20 und 60 kg NO_3/d (s. Abbildung 215). Die Teilgebiete KB01 und KB04 besitzen geringe T200-Flächenanteile. Daher können diese Gebiete als Referenzen angesehen werden, die überwiegend hydrometeorologische Einflüsse widerspiegeln. Dies bestätigt sich im Verlauf der Mediane, die sich stark ähneln. Die Mediane im Gebiet KB03 folgen diesem Verlauf weitestgehend. Hier ist keine signifikante Abhängigkeit der Nitratfrachten von den Flächenanteilen T200 festzustellen. Im Teilgebiet KB09 lässt sich im Gegensatz zu diesen Teileinzugsgebieten beobachten, dass die Mediane der Nitratfrachten seit 2009 (Einführung der Maßnahme) stabil auf einem Niveau von ca. 40 kg Nitrat/d bleiben. Eine Auswirkung auf weitere statistische Parameter, z. B. Mittelwerte oder Maxima, lässt sich jedoch nicht feststellen.

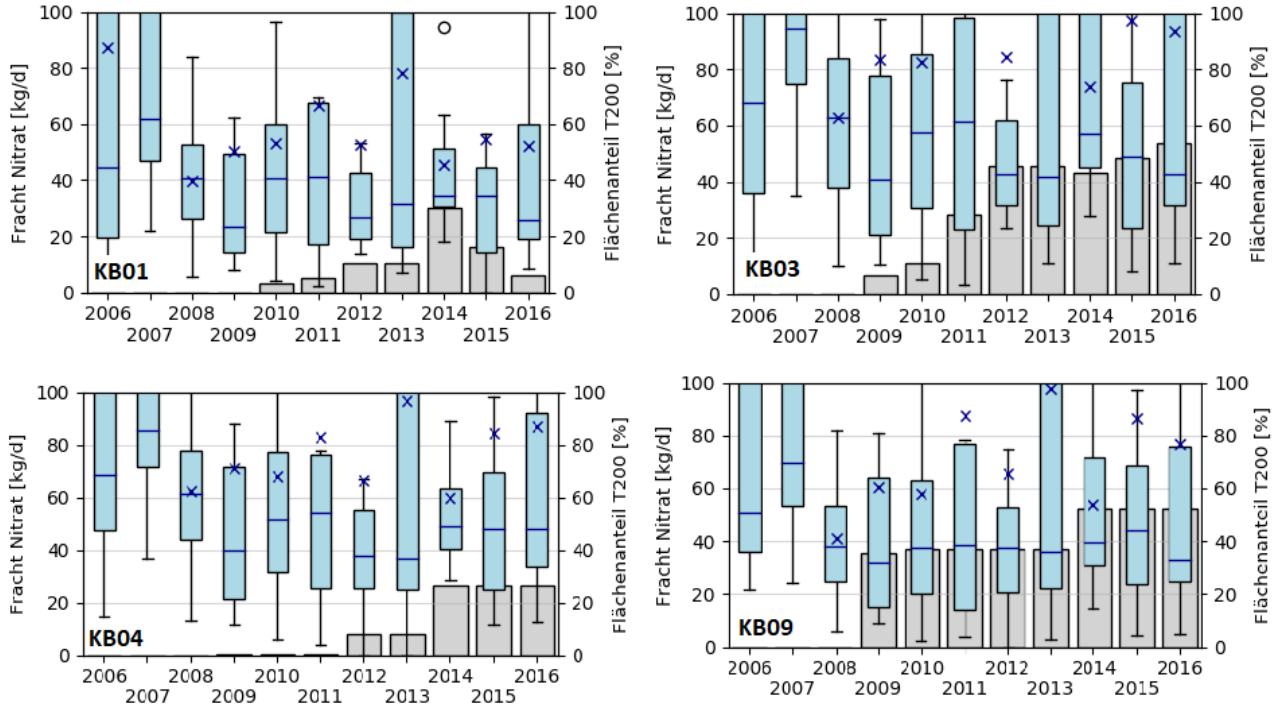


Abbildung 215: Nitratfrachten in den Teileinzugsgebieten KB01, KB03, KB04 und KB09 der Kerspetalsperre

Die Natur der Maßnahme, das Aufbringen von Dünger zum Vegetationsbeginn gemäß T200, legt nahe, dass nicht alle Zeiträume von der Wirkung dieser Maßnahme betroffen sind. Das T200-Kriterium wird etwa im März bzw. April erreicht, weshalb vor allem in diesen Monaten eine Wirkung der Maßnahme zu erwarten ist. In Abbildung 216 sind die monatlichen Nitratfrachten dargestellt. Die linke Spalte enthält die Frachten der ersten Jahreshälfte (Januar bis Juni) und die rechte Spalte die der zweiten Hälfte (Juli bis Dezember).

Die Höchstfrachten an Nitrat in den Monaten März und April werden in allen vier Einzugsgebieten in den Jahren 2006 bis 2009 erreicht. Nach 2009 nehmen die Frachten im März ab und stabilisieren sich ab 2011 bei allen Teileinzugsgebieten auf nahezu konstanten Niveaus zwischen 30 bis 70 kg Nitrat/d. Damit deutet sich an, dass sich die Maßnahme vor allem auf die Monate März und April auswirkt. Im Monat Mai deuten sich im Jahresverlauf leicht fallende Tendenzen an. Zweifel bestehen jedoch aufgrund eines fehlenden Zusammenhangs mit dem Flächenanteil T200, da sich eine solche Stabilisierung in den Monaten März und April auch in den Teilgebieten KB01 und KB04 bemerkbar macht, in denen eine Wirkung nicht oder zumindest in geringerem Ausmaß zu erwarten wäre.

Alle weiteren Monate weisen keine signifikanten Trends auf und scheinen keinen Einfluss der Maßnahme zu erfahren. Im Mai, Juni und Juli herrschen weitestgehend konstant niedrige Frachten, die auf die Vegetationsphase und die Stickstoffaufnahme der Pflanzen zurückzuführen ist. Die Herbst- und Wintermonate November bis Februar zeigen enorme Schwankungsbreiten, die die jahresabhängige hydrometeorologische Situation widerspiegelt und die Auswaschung von Nitrat bestimmt.

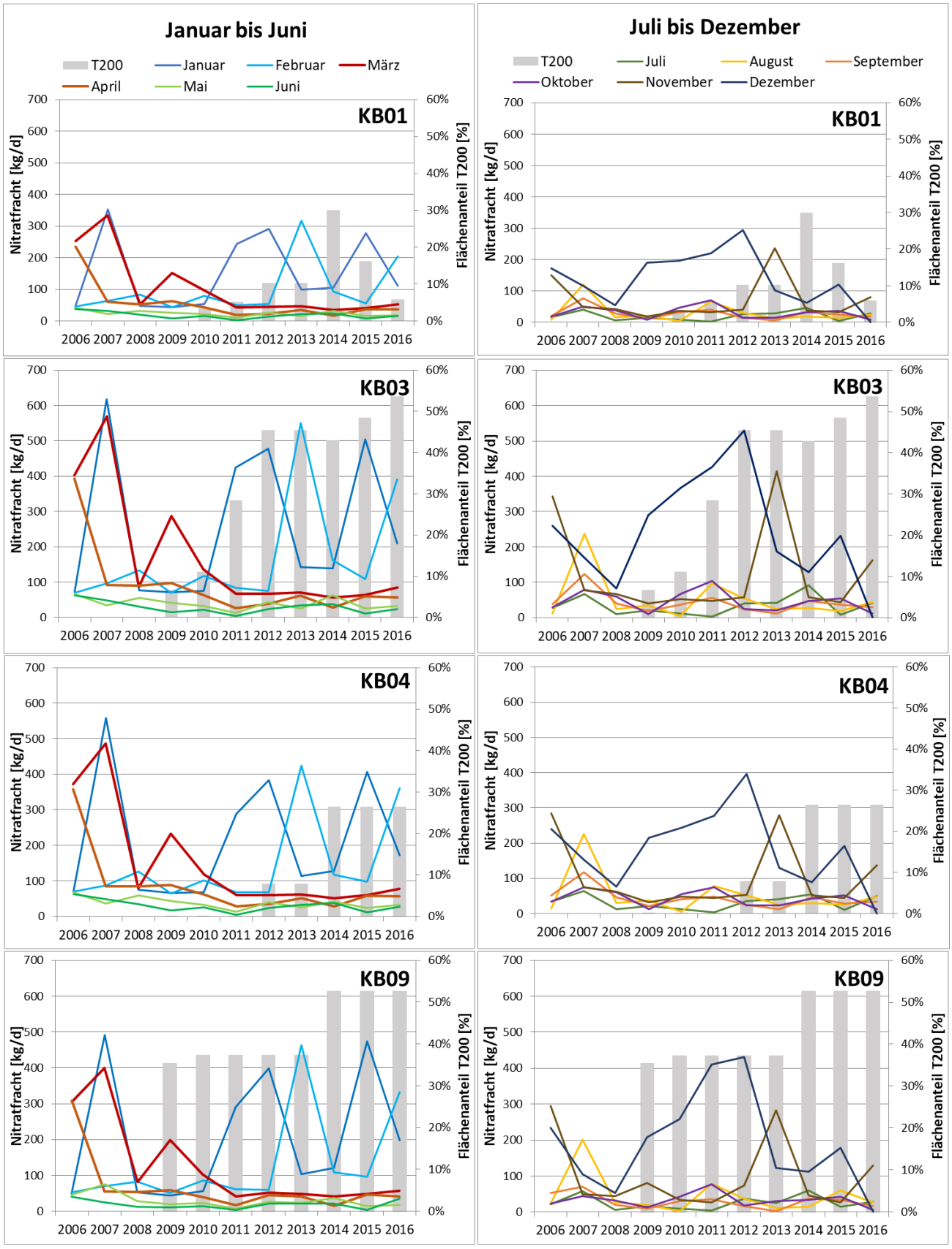


Abbildung 216: Monatliche Nitratfrachten in ausgewählten Teileinzugsgebieten der Kerspetalsperre für Januar - Juni (links) und Juli - Dezember (rechts) gegen den Flächenanteil T200

7.2.19.3 Ausbau der Lagerkapazität von Gülle und Beseitigung von Punktquellen

Die Flächenanteile mit entsprechenden Lagerkapazitäten für Gülle sind für jedes Teileinzugsgebiet in Abbildung 217 für jedes Jahr ausgewiesen. Daher lassen sich die Anteile entsprechend mit den auf die Jahre bezogenen Nitratfrachten vergleichen. Eine farbliche Veränderung von einem Jahr auf das nächste zeigt, dass ein oder mehrere landwirtschaftliche Betriebe Baumaßnahmen vornahmen, die dazu führten, dass der „Gülledruck“ auf den entsprechenden Acker- bzw. Grünlandflächen gesunken ist.

Abbildung 217: Flächenanteile der Teileinzugsgebiete KB01, KB03, KB04 und KB09 der Kerspetalsperre, die von Erweiterungen der Lagerkapazität für Gülle betroffen

In den Teileinzugsgebieten KB01, KB03 und KB04 ist der Flächenanteil mit erhöhten Lagerkapazitäten von mehr als 6 Monaten sehr gering. Flächenhaft hatte die erweiterte Kapazität in diesen TEZG also wenig Wirkung. Im Gebiet KB09 hingegen verdoppelten sich die Flächenanteile mit höheren Lagerkapazitäten (>6 Monate) im Jahr 2009 von rund 20% auf nahezu 40% und stiegen 2014 auf über 50%. In diesem TEZG konnte der Gülledruck auf den Flächen potentiell gesenkt werden. Entsprechende Auswirkungen auf die Nitratfrachten lassen sich für 2009 und 2014 jedoch nicht erkennen.

Die Beseitigungen von Hot Spots betreffen lediglich die TEZG KB01 mit zwei Betrieben und KB03 mit einem Betrieb. Die betroffenen Punktquellen sind in Anhang 10.2.17 dargestellt und befinden sich in gewässernaher Umgebung. Ordnet man die Zeitpunkte der baulichen Verbesserungen den Nitratfrachten in Abbildung 215 und Abbildung 216 zu, lassen sich keine signifikanten Veränderungen in den Frachten feststellen, die einen Rückschluss auf die Wirkung der Maßnahme zulassen würden.

7.2.19.4 Diskussion der Maßnahmen in Hinblick auf Wasserbeschaffenheit und Nitrattrend

Die Kooperation zwischen Landwirten und Wasserversorgern ist seit 1992 aktiv. Im Jahr 2009 wurde u. a. die sog. T200-Maßnahme eingeführt. Es fanden zudem in einzelnen Betrieben Baumaßnahmen zur Erweiterung der Lagerkapazität von Wirtschaftsdünger sowie die Beseitigung von Punktquellen des potentiellen Nitrateintrags statt. Insgesamt unterliegt das Einzugsgebiet der Kerspetalsperre lang-

fristig fallenden Nitratkonzentrationen, die statistische Signifikanz besitzen. Die Ganglinien zur Nitratkonzentration zeigen zu keinem Zeitpunkt Auffälligkeiten, die auf eine abrupt einsetzende Wirkung bestimmter Maßnahmen schließen ließen. Die Stetigkeit des fallenden Charakters kann jedoch möglicherweise auf die Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen und die dahinterstehenden Maßnahmen zurückgeführt werden. Zur weiteren Untersuchung der Wirkung der Maßnahmen wurde die Auswertung von Nitratfrachten in den Zuflüssen der Kerspetalsperre herangezogen.

Anhand der berechneten Frachten wurde festgestellt, dass die Maßnahme der Düngung zum Vegetationsbeginn gemäß Temperatursumme T200 bei Betrachtung der Mediane und Streuung der einzelnen Jahre meist keinen signifikanten Trend aufweisen. Lediglich im Gebiet KB09 ist eine Stabilisierung der Nitratfrachten im Jahr 2011 eingetreten. Die an den Vegetationsbeginn angepasste Ausbringung von Wirtschaftsdünger auf die Grünlandflächen, die durch die Maßnahme T200 gewährleistet wird, lässt vermuten, dass die Stickstoffauswaschung und die Belastung der oberirdischen Fließgewässer mit Nitrat dadurch minimiert wird.

Bei Betrachtung der monatlichen Frachten deutet sich für die Monate, bei denen eine besondere Sensitivität gegenüber der T200-Maßnahme erwartet wird, d. h. März und April, für den Untersuchungszeitraum von 2006 bis 2016 eine Stabilisierung der Nitratfrachten ab etwa 2011 an, die womöglich auf die Einführung der Maßnahme T200 zurückzuführen ist. Die Nitratfrachten der übrigen Monate (Mai bis Februar) erfahren keine signifikante Veränderung. Die praktisch ausschließliche Wirkung der Maßnahme auf die Monate März und April würde die geringen Auswirkungen auf den jährlichen Verlauf der Frachten und auf die Mediane erklären, da nur ein begrenzter Zeitraum durch die Maßnahme angesprochen wird. Ergänzend sind weitere Maßnahmen zur Minderung von Stickstoffeinträgen in oberirdische Gewässer, z. B. Nachsaat oder Uferrandstreifen, sinnvoll.

Es ist bei der Beurteilung der T200-Maßnahme zu berücksichtigen, dass die Flächenanteile der Grünlandflächen, die an der Maßnahme teilgenommen haben, bei meist 20 bis 30% (maximal etwa 60%) lagen. Möglicherweise tritt eine wesentlich deutlichere messbare Wirkung der Maßnahme ein, wenn die teilnehmenden Flächenanteile ansteigen. Mit baulichen Förderungen zur Erweiterung der Lagerkapazität lässt sich der Anteil teilnehmender Flächen an der Maßnahme T200 leichter erhöhen, da sie die Flexibilität der Landwirte bei der Aufbringung von Wirtschaftsdünger erhöht.

Die Daten zu Erweiterungen der Lagerkapazitäten konnten lediglich mit jährlichen Nitratfrachten in Beziehung gesetzt werden. Die höchsten Einflüsse wurden im Teileinzugsgebiet KB09 erwartet, jedoch konnte in diesen Jahren kein signifikanter Einfluss auf die Jahresstatistik der Nitratfracht identifiziert werden. Die Quantifizierung der Wirkung der Beseitigung von Hot Spots ist aufgrund sich überlagernder Einflüsse auf die Nitratentwicklung ebenfalls nicht möglich. Trotz fehlender Nachweise für eine Wirkung der genannten Maßnahmen, muss bemerkt werden, dass die Erweiterung der Güllelagerkapazität und die Beseitigung von Hot Spots im Sinne des vorsorgenden Gewässerschutzes sind. Die Gefahr massiver kurzfristiger Nitrateinträge aufgrund von Extremereignissen, z. B. Starkregen, wird damit verringert.

7.3 Akzeptanzanalyse von Trinkwasserschutzmaßnahmen und Kooperationsarbeit in den untersuchten Wasserschutzgebieten

Jenseits der Frage der konkreten Minderungswirkungen, die Gewässerschutzmaßnahmen entfalten, ist die Bereitschaft der relevanten Akteure (insbesondere Landwirte), diese Maßnahmen auch umzusetzen, eine Kernfrage für freiwillige Maßnahmenprogramme.

In den Trinkwasserschutzkooperationen NRWs beruhen die Mitgliedschaft der Landwirte sowie die Umsetzung von Trinkwasserschutzmaßnahmen auf Freiwilligkeit. Ebenso freiwillig ist die Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen des Landes NRW, wie auch an weiteren Maßnahmenprogrammen, welche für die Wasserrahmenrichtlinie von Relevanz sind. Es liegt auf der Hand, dass bei freiwilligen Maßnahmenprogrammen die Akzeptanz seitens der Landwirte ein Schlüssel zum Erfolg ist (s. hierzu auch Schroeder et al., 2015). Eine Verbesserung der Akzeptanz und Legitimität agrarpolitischer Programme ist also auch aus Effektivitätsüberlegungen relevant (Häußler et al., 2007).

Um die positiven Ansätze aus den Trinkwasserschutzkooperationen in noch stärkerem Maße für die Umsetzung der WRRL nutzbar zu machen und für eine verbesserte Ausgestaltung der Agrarförderungsprogramme zu nutzen, wurde im Rahmen dieser Studie eine Akzeptanzanalyse unter den Kooperationslandwirten durchgeführt. Diese Analyse untersucht welche Faktoren für die Akzeptanz unter den Landwirten für die Kooperationsarbeit insgesamt und für Gewässerschutzmaßnahmen bzw. Beratung im Einzelnen förderlich bzw. welche hinderlich sind.

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse fassen Erkenntnisse über Betrachtungsweisen der Kooperationslandwirte zusammen. Diese können für eine künftige Ausgestaltung der Trinkwasserkooperationen in NRW (bzw. für die Arbeit einzelner Kooperationen), für Anpassungen der aktuellen Maßnahmenprogramme der WRRL und AUM sowie für eine verstärkte Berücksichtigung von Wasserschutzbelangen in der üblichen landwirtschaftlichen Beratung nutzbar gemacht werden. Sie erläutern einerseits Aspekte, die für die Umsetzungsbereitschaft für Gewässerschutzmaßnahmen und somit für Maßnahmenprogramme relevant sind, andererseits auch die Faktoren, die aus Sicht der Landwirte zu einer vertrauensvollen und erfolgreichen Beratung führen.

Die Studie leistet somit auch den in der Leistungsbeschreibung ausdrücklich erwünschten Beitrag für eine Entwicklung, in der alle landwirtschaftlichen Beratungen zu intensivieren und stärker an einer Verbesserung der Gewässerqualität auszurichten sind. Zu den wichtigsten Empfehlungen dieser Studie gehört die Ausweitung der Beratungsangebote im Rahmen der WRRL und die vermehrte Aufnahme von Gewässerschutzbelangen in die „üblichen“ Beratungsangebote der Landwirtschaftskammer (Basisberatung und Spezialberatung, insbesondere für die Aspekte Pflanzenbau, Pflanzenschutz und Bodenfruchtbarkeit in der Beratung zum Ackerbau).

Die Akzeptanzanalyse wurde als anonyme Online-Befragung durchgeführt und war in fünf Teile gegliedert. Diese war nach einer ersten Begrüßungs- und Einleitungsseite auf fünf unterschiedlichen Webpages aufzufinden. Teil 1 erhob Daten bezüglich des landwirtschaftlichen Betriebs, Teil 2 fragte Daten zur Kooperationsarbeit ab, Teil 3 stellte Fragen zur übergeordneten Kooperationsarbeit. Daraufhin wurden in Teil 4 Daten zu den umgesetzten Flächenmaßnahmen erhoben wobei letztlich Teil 5 spezifische Fragen zur Gewässerschutzberatung beinhaltete. In der Schlussfrage wurde Landwirte die Möglichkeit geboten, Vorschläge zur Verbesserung der Kooperationsarbeit einzureichen. Der vollständige Fragebogen befindet sich in Anhang 10.5, weitere Angaben zur Methode werden in Kapitel 6.5 gemacht. Frage 2 wurde aufgrund stark variierender Vollständigkeit der Angaben nicht bewertet. Ebenso wurden die offenen Fragen 13 und 20 aufgrund kaum relevanter Beiträge (mit vielen Antworten wie „nein“ und „keine“) nicht bewertet. Insgesamt flossen 161 Fragebögen in die Bewertung ein. Um unter anderem die Anonymität der Befragten zu gewährleisten zielte diese Akzeptanzanalyse nicht auf Repräsentativität ab. Allerdings lassen sich jedoch aus der Tendenz ihrer Ergebnisse durchaus Schlussfolgerungen für künftige Beratungs- und Maßnahmenprogramme ableiten.

7.3.1 Informationen zum Betrieb / Informationen zur Kooperationsarbeit

Frage 1 der Online-Umfrage erfragte die bewirtschaftete Fläche des jeweiligen Betriebes, aufgeteilt in Acker, Grünland, Dauerkulturen und Gemüse/Sonderkulturen, gemäß ihrem jeweiligen Anteil im Ko-

operationsgebiet. In Abbildung 218 werden die Angaben für die Gesamtfläche der Betriebe zusammengefasst. Insgesamt 30% der Landwirte bewirtschaften weniger als 50 ha Fläche, fast 40% bewirtschaften eine Fläche zwischen 50 und 100 ha und mit 21% bewirtschaftet ein bedeutender Anteil der befragten Landwirte über 100 ha landwirtschaftliche Fläche.

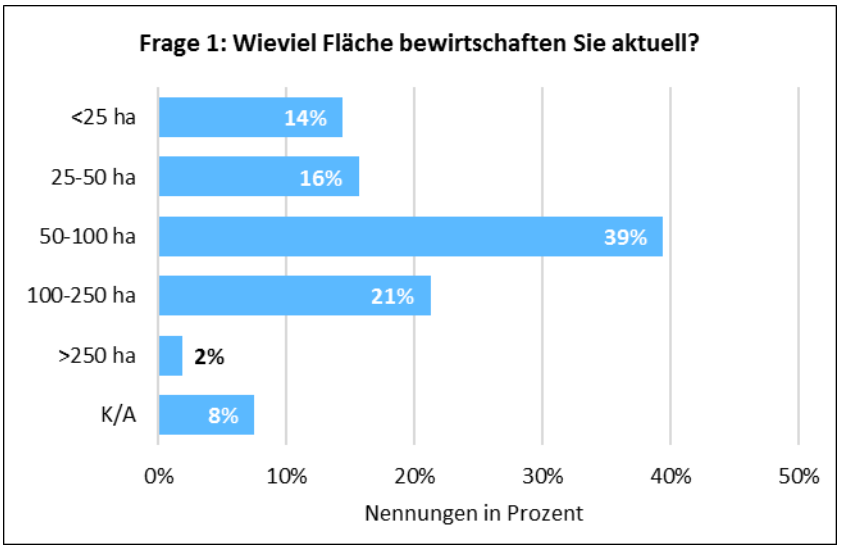


Abbildung 218: Angaben zur Größe des landwirtschaftlichen Betriebs

In Frage 2 wurden Informationen zu den wichtigsten angebauten Kulturen abgefragt. Diese Informationen waren allerdings leider zu unvollständig, um sie angemessen bewerten zu können.

Abbildung 219 fasst die Angaben der Landwirte zur Viehbesatzzahl in ihren Betrieben zusammen (Frage 3). Lediglich 8% der befragten Landwirte machten keine Angabe zu dieser Frage.

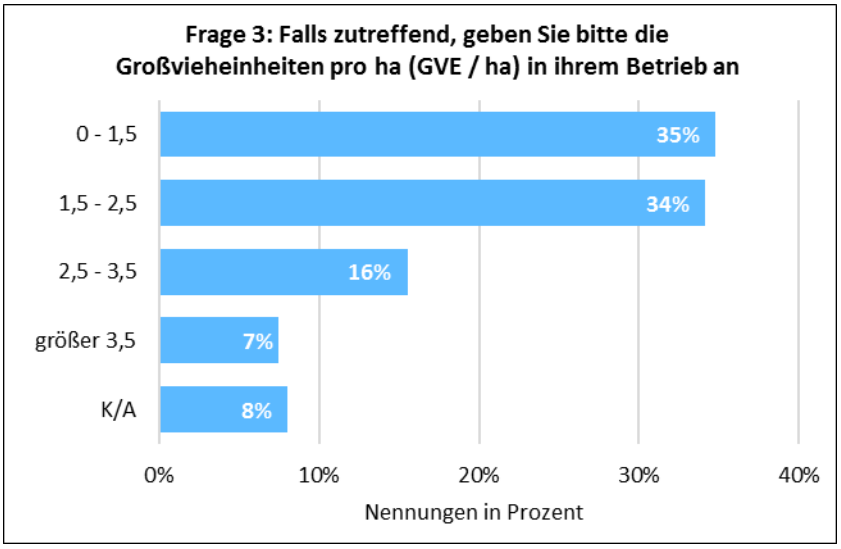


Abbildung 219: Zusammenfassung GVE / ha

Um den Landwirten die Möglichkeit für Kritik und Verbesserungsvorschläge einzuräumen, die nicht direkt auf die Kooperation bzw. den Berater zurückfallen, wurde in der Online-Befragung lediglich abgefragt, in welcher der Regionalen Arbeitsgemeinschaften (RAG) sich die Kooperation befindet. Die linke Grafik in Abbildung 220 zeigt die Verteilung der befragten Landwirte in den jeweiligen RAGs. Die rechte Grafik stellt die Verteilung der 20 untersuchten Wasserschutzgebiete in den jeweiligen RAGs dar.

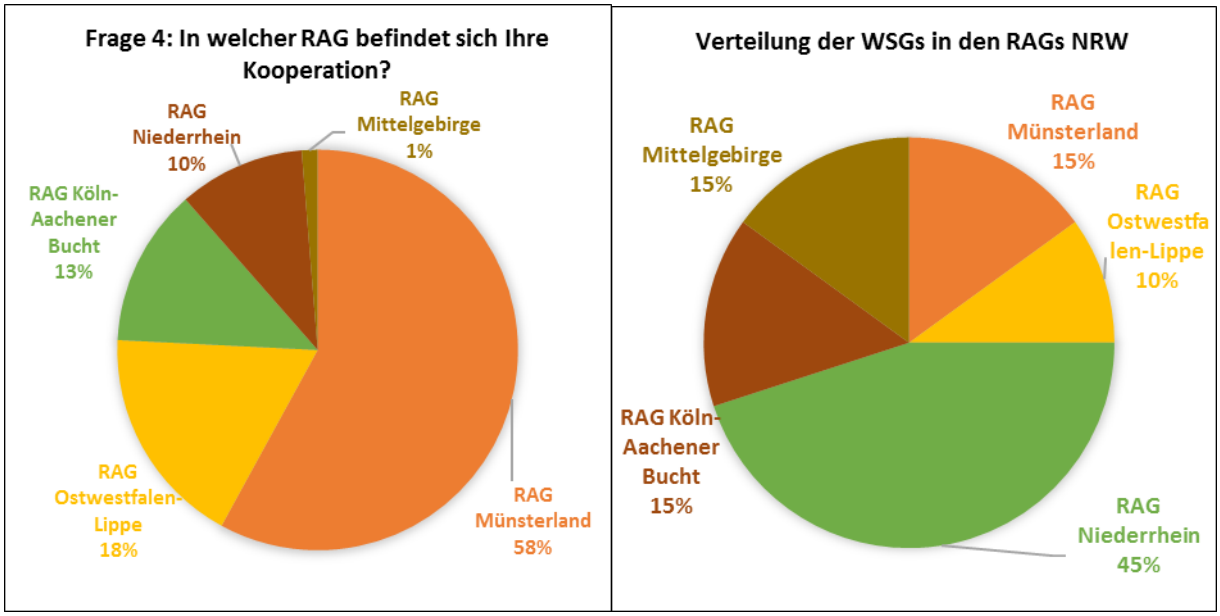


Abbildung 220: Vergleich der Verteilung der befragten Landwirte in den RAGs (Frage 4, Anzahl Antworten: 158) mit der Verteilung der untersuchten WSG in den RAG

Für fast 60% der Landwirte, die den Fragebogen beantworteten, liegt deren Wasserschutzgebiet im Zuständigkeitsbereich der RAG Münsterland. Dabei lagen nur 15% (3) der 20 untersuchten WSG in diesem Gebiet. Der Vergleich beider Grafiken in Abbildung 220 zeigt, dass überproportional viele Landwirte aus dieser RAG die Online-Umfrage beantworteten, was womöglich auch mit der Größe des Kooperationsgebiets für den Halterner Stausee zusammenhängt.

Frage 5 zielte auf die Länge der Teilnahme an der jeweiligen Kooperation ab. Die Ergebnisse, zusammengefasst in Abbildung 221, zeugen von einer beeindruckenden Langfristigkeit im Kooperationsverhältnis: 86% der befragten Landwirte sind seit mehr als fünf Jahren Mitglied der Kooperation, fast 70% sind es für mehr als 10 Jahre und 50% sind seit mehr als 15 Jahren an der Kooperationsarbeit beteiligt.

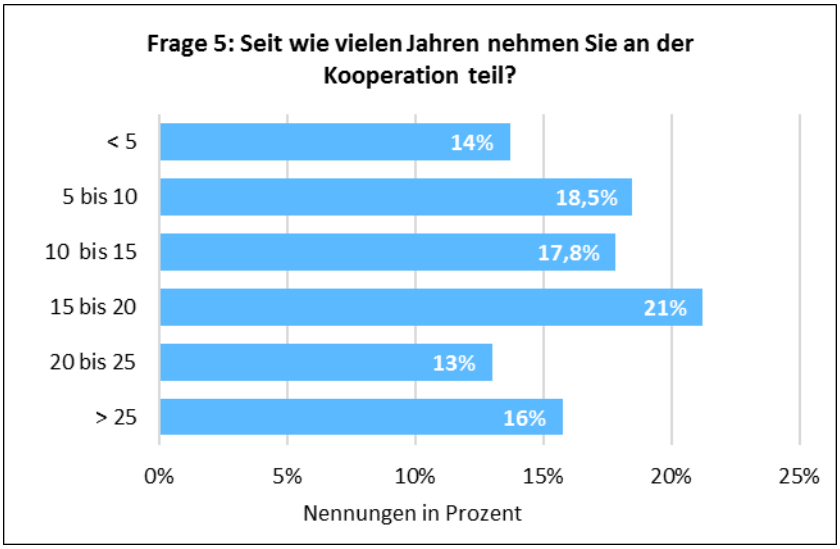


Abbildung 221: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 5

Die Antworten auf Frage 5 verdeutlichen, wie wichtig die Aufrechterhaltung von produktiven Beziehungen mit Kooperationslandwirten ist. Ebenso wird gezeigt, wie verhängnisvoll Zerwürfnisse mit Landwirten sein können. Mehrere Berater berichteten von Konflikten mit einzelnen Landwirten, die z. T. mehrere Jahre vor Beginn der Arbeit des Beraters im WSG stattfanden, aufgrund welcher jedoch noch heute eine Zusammenarbeit mit diesen Landwirten unmöglich sei.

In Frage 6 wurde abgefragt, welche Art von Kooperationsmaßnahmen der jeweilige Landwirt im Bewirtschaftungsjahr 2018 in Anspruch nahm. Abbildung 222 zeigt, dass mit 46% nicht mal die Hälfte der Befragten eine Flächenmaßnahme (also z. B. den Anbau von Zwischenfrüchten oder eine Prämie nach einem erreichten Herbst-N_{min}-Wert) in Anspruch nahm, noch seltener war mit 22% die Inanspruchnahme von Technikförderungen. Unter den befragten Landwirten waren die am häufigsten wahrgenommenen Angebote die Beratung allgemein (86%) und die Erstellung von Nährstoffvergleichen und Nährstoffplänen (53%).

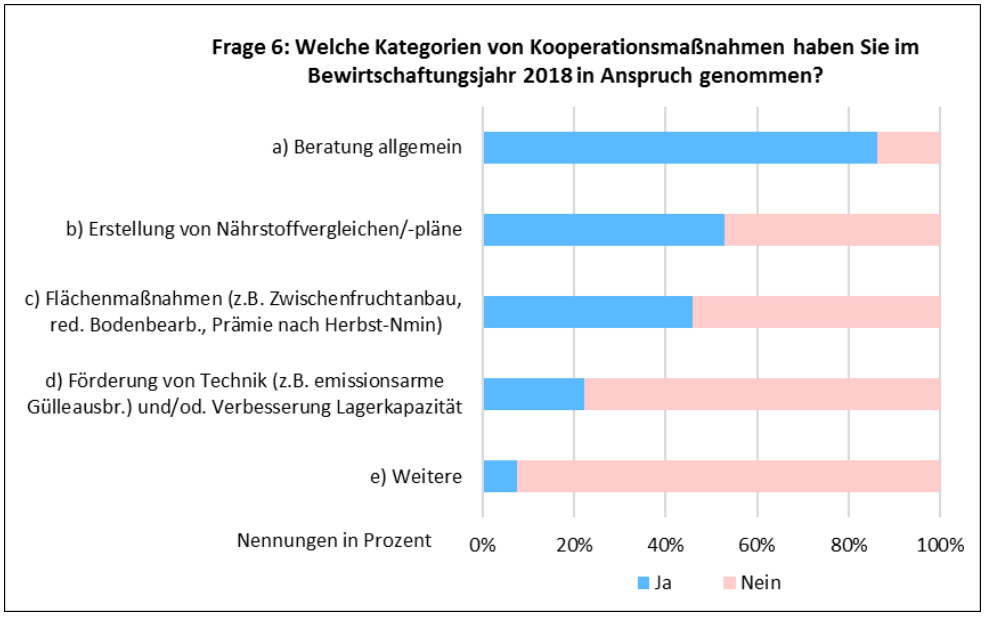


Abbildung 222: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 6

Bei dieser Frage lassen sich starke regionale Unterschiede ausmachen. In Abbildung 223 werden die Antworten für die Frage 6 c) („Inanspruchnahme von Flächenmaßnahmen“) gesondert nach der RAG der beantwortenden Landwirte dargestellt. Wie zu erwarten werden Flächenmaßnahmen bei den aus der RAG Niederrhein befragten Landwirte häufiger umgesetzt – in diesem RAG befinden sich auch die meisten Kooperationen mit Prämienförderung. Dagegen setzten Landwirte im RAG Münsterland diese Art von Maßnahmen deutlich weniger oft um.

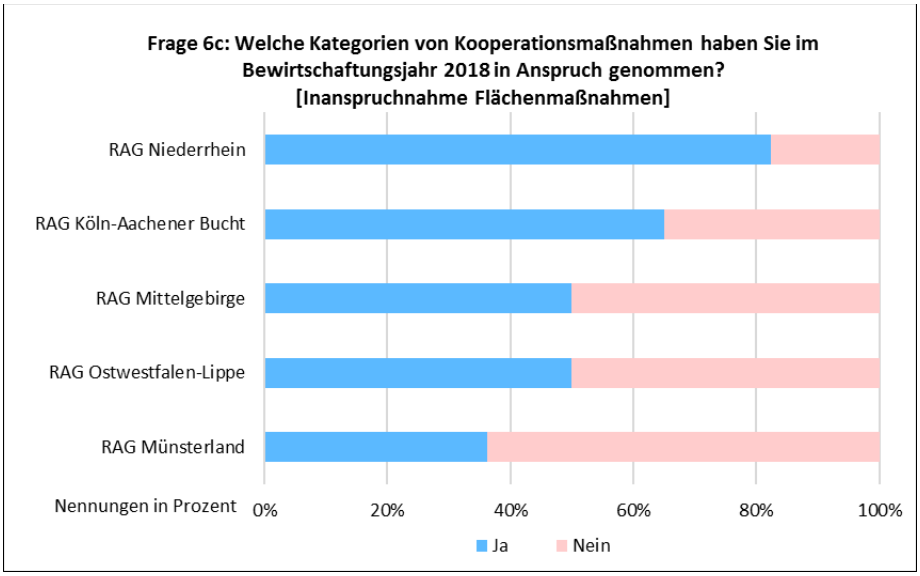


Abbildung 223: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 6c

In Frage 7 wurde die Art der Förderung von Flächenmaßnahmen im jeweiligen WSG abgefragt. Wie an Abbildung 224 zu erkennen, bleibt weiterhin die Förderung nach umgesetzter Maßnahme sehr verbreitet. Auch hier stecken regionale Unterschiede hinter den Antworten.

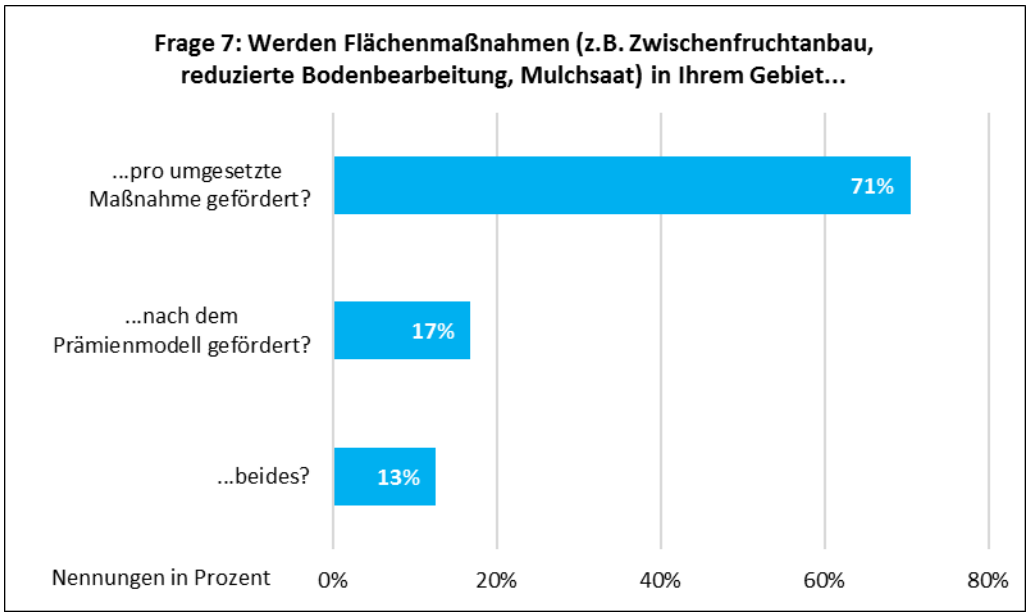


Abbildung 224: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 7

Bei Frage 7 ist die Anzahl an Antworten deutlich geringer als bei den vorherliegenden und nachkommenden Fragen. Unter den Gründen hierfür liegt womöglich die Unklarheit bei einigen Landwirten hinsichtlich des genauen Unterschiedes beider Ansätze.

7.3.2 Fragen zur Kooperationsarbeit allgemein

Eine wichtige Frage aus Sicht künftiger Ausgestaltungen von Maßnahmenprogrammen bezieht sich auf die Motivation der Landwirte, an einer freiwilligen Kooperationsarbeit teilzunehmen. Frage 8 war eine Mehrfachwahlfrage, die den Landwirten unterschiedliche Gründe für eine Kooperationsarbeit auflistete und ihnen die Möglichkeit bot, diese Gründe mithilfe einer Likert-Skala zu bewerten (Abbildung 225).

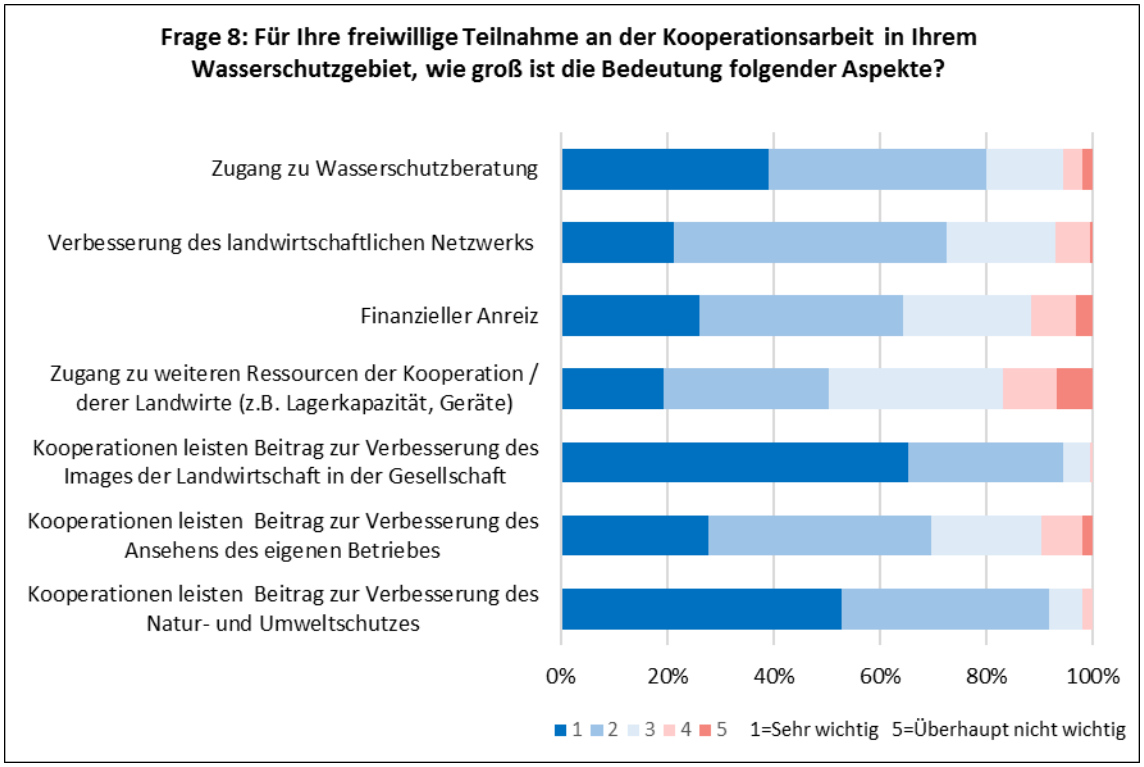


Abbildung 225: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 8

Jede einzelne der aus der Fachliteratur abgeleitete Motivation wurde in über 50% der Antworten mit „sehr wichtig“ und „wichtig“ eingestuft. Am häufigsten geschah dies aber für den Aspekt „Kooperationen leisten einen Beitrag zur Verbesserung des Images der Landwirtschaft in der Gesellschaft“, mit über 90% für beide Angaben. Nur knapp dahinter steht der Beitrag zur Verbesserung des Natur- und Umweltschutzes. An dritter Stelle, mit 80% Antworten „sehr wichtig“ und „wichtig“, steht der Zugang zur Wasserschutzberatung. Der finanzielle Anreiz erhält deutlich über 60% für beide Angaben und ist damit allerdings an vorletzter Stelle der untersuchten Faktoren.

Die in Abbildung 226 zusammengefassten Antworten auf Frage 9, 10 und 12 zeigen, dass die erreichten Organisationsformen von den Landwirten als positiv empfunden werden, wenngleich es Verbesserungspotentiale gibt. Für alle drei Fragen liegen die Antworten für „trifft deutlich zu“ und „trifft zu“ bei über 60%. Vor allem die Einfachheit der Kooperationsvereinbarungen wird mit großer Mehrheit als förderlich für eine Teilnahme betrachtet. Gut schneidet auch der unter Frage 9 abgefragte Aspekt der Nachvollziehbarkeit von Kooperationsentscheidungen ab. Die höchsten Verbesserungspotenziale sind bei der Frage nach dem Toleranzbereich in der Umsetzung zu erkennen.

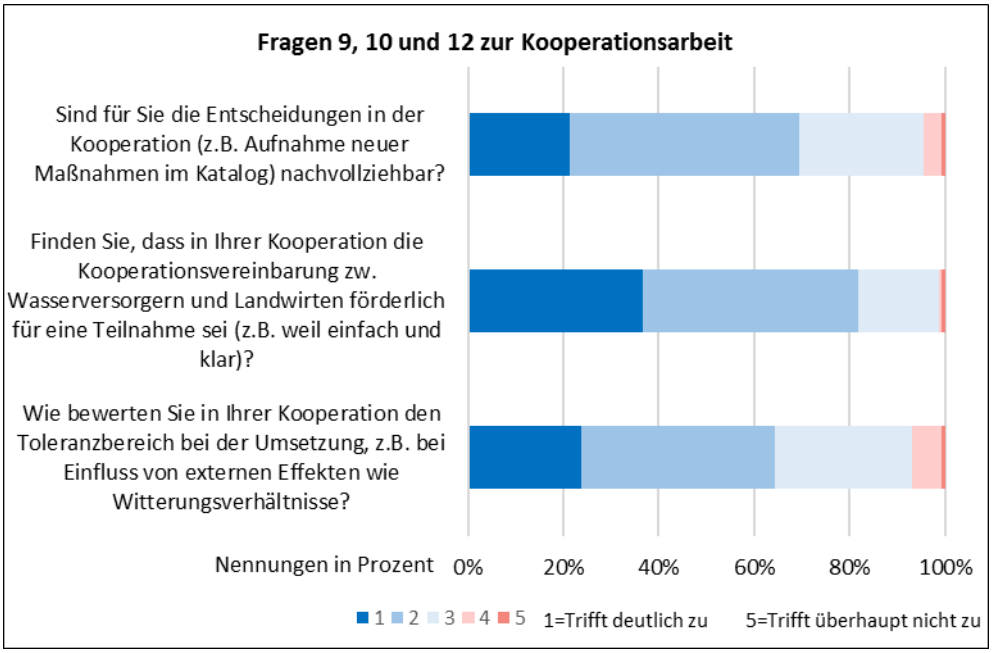


Abbildung 226: Prozentuale Verteilung Antworten für Fragen 9, 10 und 12

Der Aspekt der Toleranzbereiche und Flexibilität in der Umsetzung von Maßnahmen, wie z. B. eine späte An- bzw. Abmeldung der Teilnahme an einer Maßnahme, z. B. aufgrund von Witterung oder aus betrieblichen Gründen, ist auch der am wenigste positiv bewertete Aspekt der Kooperationsarbeit unter Frage 11 (Abbildung 227). Nichtsdestotrotz überwiegen die positiven Antworten der ersten zwei Klassen und erreichen über 70% der Nennungen.

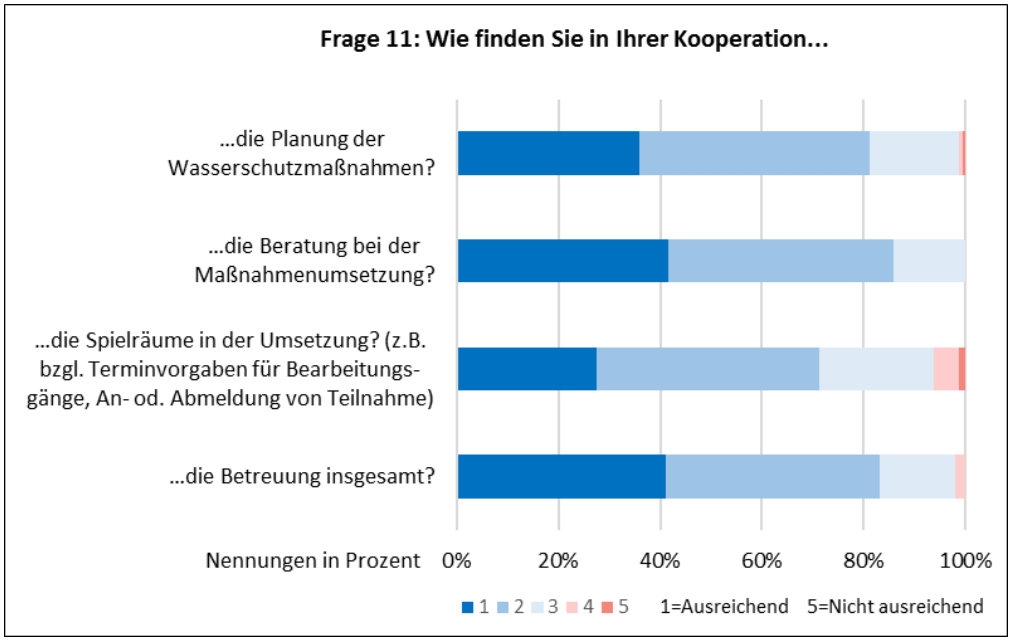


Abbildung 227: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 11

Die Beratung bei der Maßnahmenumsetzung, die Planung der Wasserschutzmaßnahmen und die Betreuung insgesamt werden allesamt sehr ähnlich bewertet, mit überwiegend positiven Antworten zwischen 80% und 85%.

7.3.3 Fragen zu Flächenmaßnahmen

In Abbildung 228 werden die Antworten für die Fragen 14, 16 und 17 zusammengefasst, welche die Einschätzung der Landwirte hinsichtlich der von ihnen umgesetzten Flächenmaßnahmen und den damit verbundenen bürokratischen Aufwand abfragen.

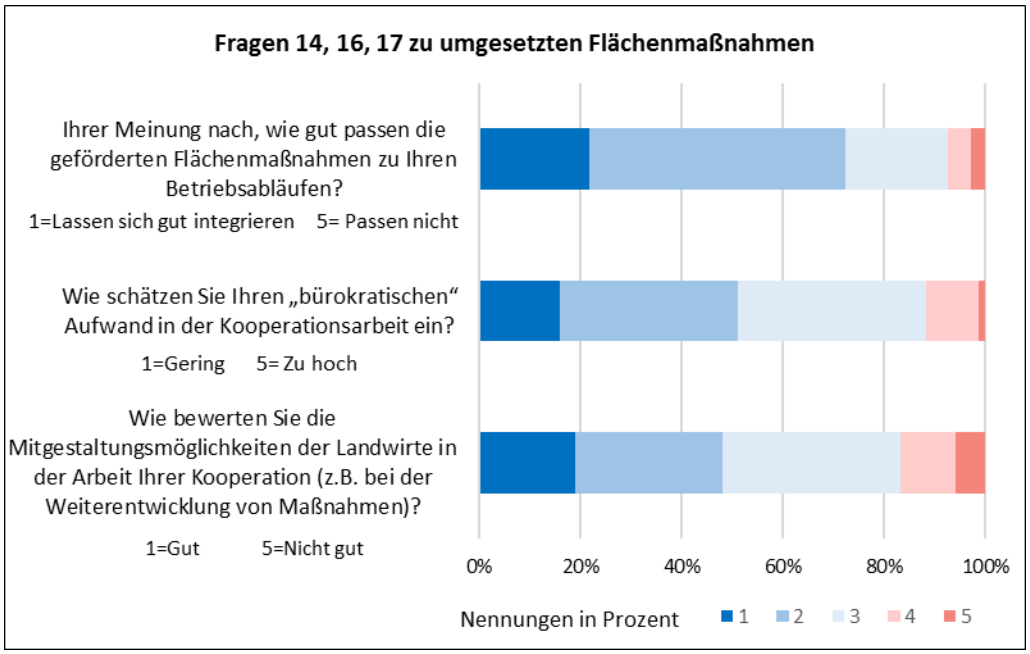


Abbildung 228: Prozentuale Verteilung Antworten für Fragen 14, 16 und 17

Wie auch bei den übrigen Fragen, welche die Arbeit der eigenen Kooperation bewerten, überwiegen die positiven Antworten der befragten Landwirte. Zwar antworten nur knapp über 20% auf die Frage, wie gut die Flächenmaßnahmen zu ihren Betriebsabläufen passen mit „Lassen sich gut integrieren“, dennoch erhält diese Antwort gemeinsam mit der nächsten Klasse auf der Likert-Skala mehr als 70% der Antworten. Weniger als 10% der Antworten werden für die Klassen 4 und 5 abgegeben.

Der bürokratische Aufwand in der Kooperation wird etwas negativer eingeschätzt, wenngleich die positiven Antworten weiterhin mehr als 50% der Antworten ausmachen. Knapp unter 40% antwortet an dieser Stelle neutral, 10% der Antworten liegen bei „hoch“ und nur 1% der Antworten bei „zu hoch“. Wiederum etwas negativer werden die Mitgestaltungsmöglichkeiten der Landwirte in ihrer Kooperation eingeschätzt. Die Antworten in Klasse 1 und 2 liegen gemeinsam bei 48%, bei den negativen Antworten in Klasse 4 sind es 11% und für „nicht gut“ sind es 6%.

Frage 15 zielte auf die Bedeutung unterschiedlicher Aspekte in der Umsetzung von Flächenmaßnahmen seitens des Landwirtes ab, die in Abbildung 229 zusammengefasst werden.

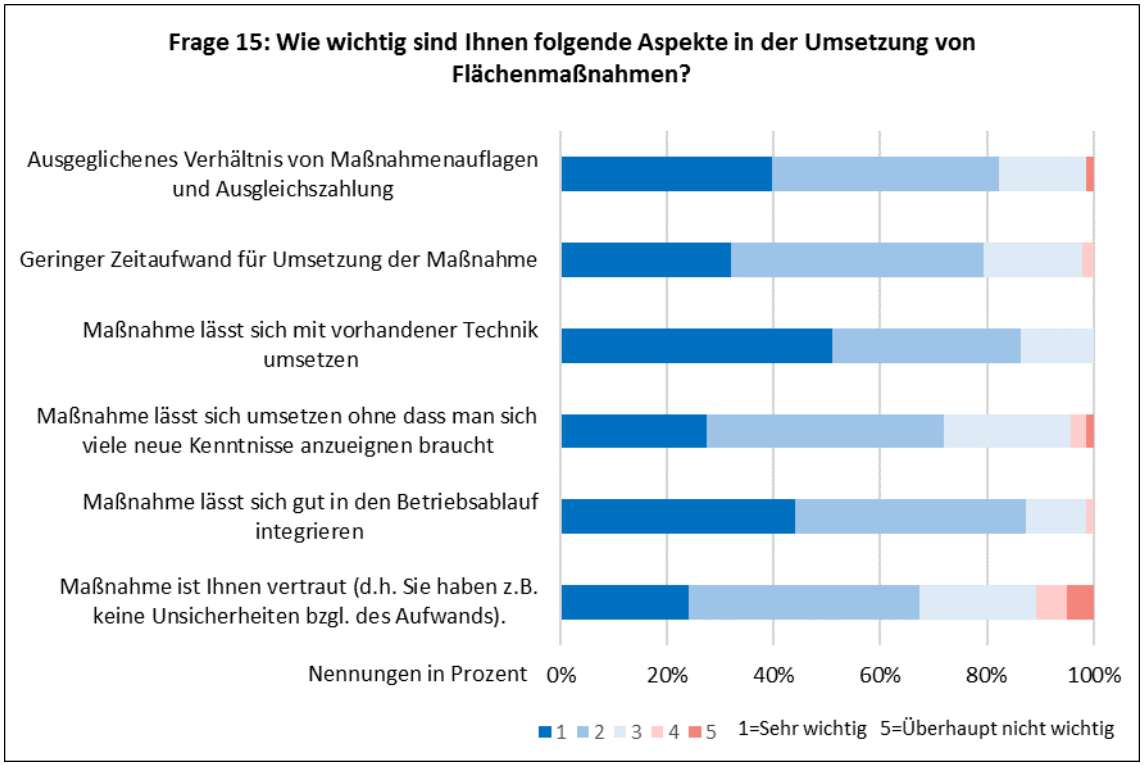


Abbildung 229: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 15

Die Integration im Betriebsablauf und die Möglichkeit der Umsetzung mit vorhandener Technik sind diejenigen Aspekte, die von den befragten Landwirten als am Wichtigsten bewertet werden. Auch ein ausgeglichenes Verhältnis von Auflagen und Ausgleichszahlungen bekommt von den Landwirten viel Unterstützung, es wird mit 40% der Antworten als „sehr wichtig“ und weiteren 40% als „wichtig“ eingestuft.

Jeweils ein Drittel der Befragten gibt an, dass ihnen weder Vertrautheit mit der Maßnahme noch vorhandene Kenntnisse für deren Umsetzung wichtig ist. Um die zwei Drittel, denen diese Aspekte entweder „sehr wichtig“ oder „wichtig“ sind, zu erreichen, könnte eine Intensivierung der Demonstrationsversuche ein guter Weg sein. Hierzu gab es Hinweise seitens der befragten Landwirte in den Antworten zu den offenen Fragen: *„Noch mehr Versuche anlegen und durchführen“* (Frage 23), *„Beispielflächen so bewirtschaften, damit man sich das angucken kann“* (Frage 20).

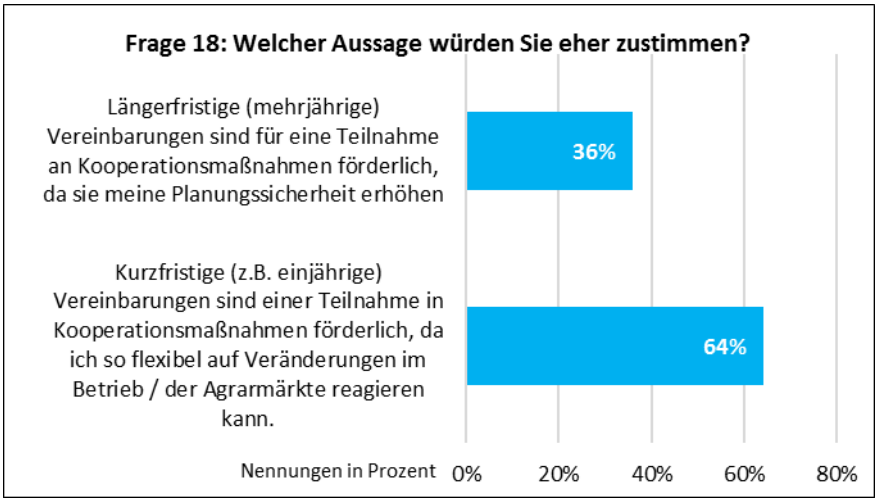


Abbildung 230: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 18

Die Antworten auf Frage 18 zeigen, dass für die Mehrheit der befragten Landwirte die Bedeutung einer betrieblichen Flexibilität, die nötig ist, um auf Veränderungen z. B. der Agrarmärkte zu reagieren, im Vergleich zur Planungssicherheit, welche ihnen längerfristige Vereinbarungen im Gewässerschutz geben kann, überwiegt. Dies ist von Bedeutung, wenn bei der Gestaltung von WRRL- und AUM Maßnahmen über Bindungsfristen entschieden wird: Kurzfristige Vereinbarungen bzw. Vereinbarungen, die für einen unkomplizierten Ausstieg aus einer Maßnahme sorgen, haben auch laut Fachliteratur eine höhere Wahrscheinlichkeit, auf Beliebtheit bei Landwirten zu stoßen. Eine der wenigen Antworten auf Frage 13 („Haben Sie Vorschläge, wie die Attraktivität einer Teilnahme an Ihrer Kooperation erhöht werden kann?“) betonte auch diesen Aspekt: *„Mehr Flexibilität bei der Umsetzung von Maßnahmen, kürzere Bindungszeiträume.“*

Ein weiterer bedeutender Aspekt ist der Einfluss dieser Einstellung hinsichtlich der betrieblichen Flexibilität auf die Umsetzung von Maßnahmen, die auf Langfristigkeit angelegt sind. Darunter zählen z. B. Maßnahmen zur Auflockerung der Fruchtfolgen, die sowohl aus Sicht des Gewässerschutzes als auch hinsichtlich Biodiversitätsförderung und der Förderung von Bodenfruchtbarkeit äußerst interessant sind. Die Bereitschaft der Landwirte, sich durcheine solche Maßnahme mehrjährig zu binden, kommt an dieser Stelle womöglich an ihre Grenzen. Eine Studie der RheinEnergie stellt zur Maßnahme „Optimierung der Fruchtfolge“ Folgendes fest: „*Grundsätzlich ist es für den Landwirt aber problematisch, sich auf eine bestimmte Fruchtfolge festzulegen, da er dann nicht mehr flexibel auf die Anforderungen des Marktes reagieren kann“* (RheinEnergie, 2010). Ggf. ist dies der Grund, warum in den untersuchten Kooperationen die einzige Maßnahme, die eine Anpassung der Fruchtfolgen beabsichtigt, die kurzfristige Maßnahme „Anbau von Sommergetreide“ (anstelle von Wintergetreide) ist. Immerhin zeigt Abbildung 230, dass etwa ein Drittel der Befragten längerfristige Vereinbarungen vorziehen, diese Art von Maßnahmen kann also durchaus eine gewisse Akzeptanz finden.

In Abbildung 231 werden die Antworten der Landwirte auf die Möglichkeit der Technikanschaffung im Rahmen der Kooperationsarbeit zusammengefasst.

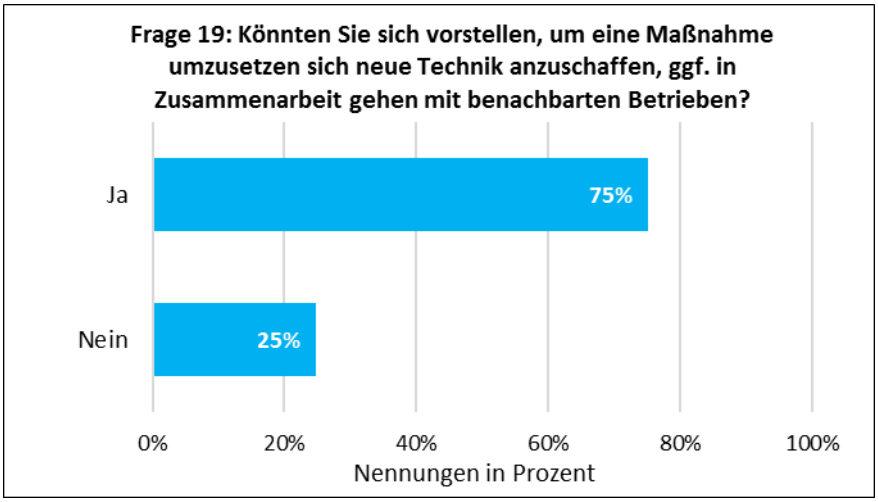


Abbildung 231: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 19

Beeindruckend hoch ist der Anteil an Landwirten, die sich eine solche Anschaffung vorstellen können. Diese Antworten stehen allerdings in einem gewissen Widerspruch mit den Angaben für Frage 15 (vgl. Abbildung 229) bzgl. der Umsetzungsmöglichkeit mit vorhandener Technik. Die in Frage 19 höhere Bereitschaft könnte mit der Möglichkeit der Zusammenarbeit mit benachbarten Betrieben zusammenhängen.

Unter den in Frage 19 eingetragenen Ausführungen zu den Gründen, warum ein Landwirt sich eine Technikanschaffung nicht vorstellen könne, wurde an erster Stelle genannt, dass die Fläche des Betriebs dafür zu klein sei, was also nicht auf eine grundsätzliche Ablehnung schließen lässt. An zweiter Stelle stand der hohe Preis der Technik.

7.3.4 Fragen zur Beratung

Abschließend wurden in der Akzeptanzanalyse Aspekte der Beratung abgefragt. In Abbildung 232 werden die Antworten der Landwirte zu der Aufklärungsleistung der Beratung für unterschiedliche Aspekte dargestellt.

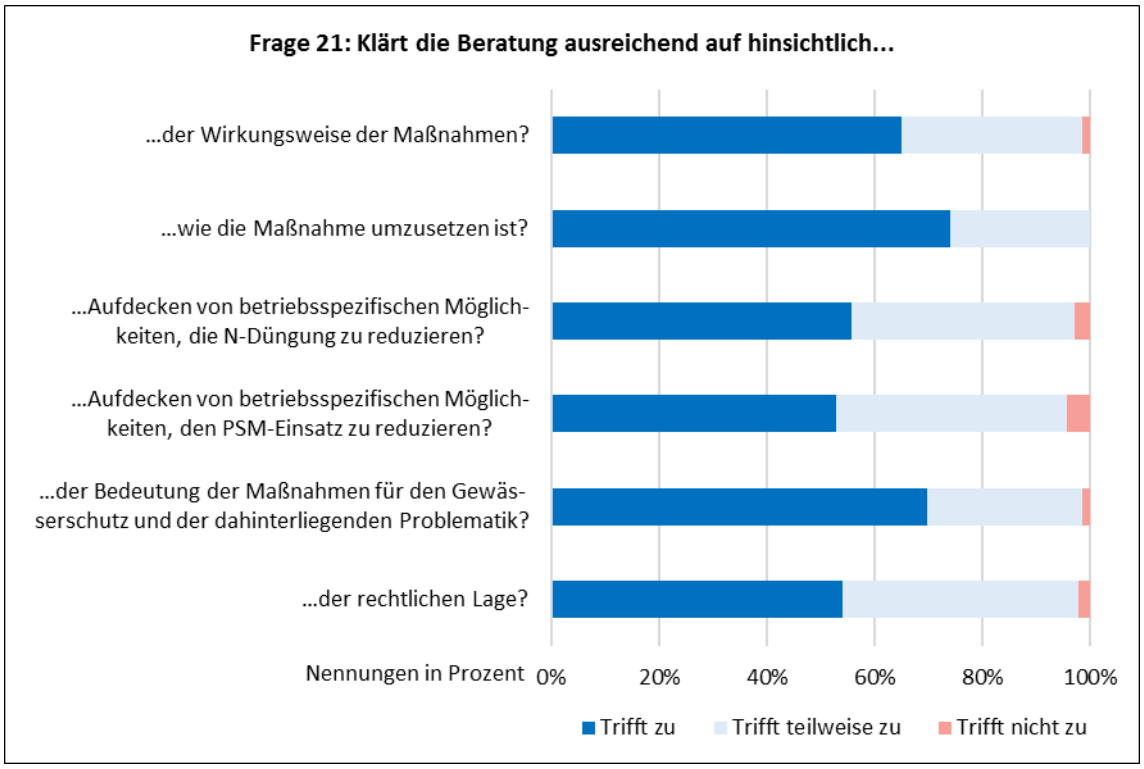


Abbildung 232: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 21

Aspekte, die mit Gewässerschutzmaßnahmen zusammenhängen (Wirkungsweise, Art und Weise der Umsetzung, Bedeutung für den Gewässerschutz) werden von den teilnehmenden Landwirten als äußerst positiv evaluiert; mit der Bewertung „trifft zu“ von über 60% und über 98% für die Antworten „trifft zu“ oder „trifft teilweise zu“. Die weiterhin überwiegend positiven jedoch ausbaufähigen Antworten für die Aspekte „Aufdecken von betriebsspezifischen Möglichkeiten, N-Düngung / PSM-Einsatz zu reduzieren“ könnten ein Hinweis darauf sein, dass für einige der teilnehmenden Landwirte die Beratung etwas intensiver sein könnte.

Dies deckt sich auch mit einigen der wenigen Antworten auf die offenen Fragen 23 („Haben Sie Vorschläge, wie die Beratung in Ihrem Gebiet verbessert werden könnte?“). Unter den 9 eingereichten Antworten stehen vier, die eine Intensivierung der Beratungstätigkeit anregen (*„Mehr Personal“, „Eventuell noch Hausbesuche bei den einzelnen Landwirten.“, „Regelmäßige Vorort Termine mit Berater“, „Betriebsbesuche“*) und eine, die eine Intensivierung der Feldversuche anregt (*„Noch mehr Versuche anlegen und durchführen“*).

Abbildung 233 fasst die Antworten der Befragungsteilnehmenden zu den ihnen wichtigsten erscheinenden Aspekten in der Beratung zusammen. Auch die vier Faktoren, die für die Frage 22 bewertet wurden, werden sehr deutlich als „sehr wichtig“ bzw. „wichtig“ eingestuft. Der für die befragten Landwirte bedeutendste Faktor ist das Wissen des Beraters, das mit 80% als „sehr wichtig“ und zu 100% als entweder „sehr wichtig“ oder „wichtig“ eingestuft wird. Die Fragen der Bedeutung eines guten Verhältnisses zum Beratenden und der Vertrauensbasis im Beratungsverhältnis werden ebenso als sehr bedeutsam eingestuft, mit jeweils über 60% der Antworten „sehr wichtig“ und über 97% der Antworten entweder „sehr wichtig“ oder „wichtig“.

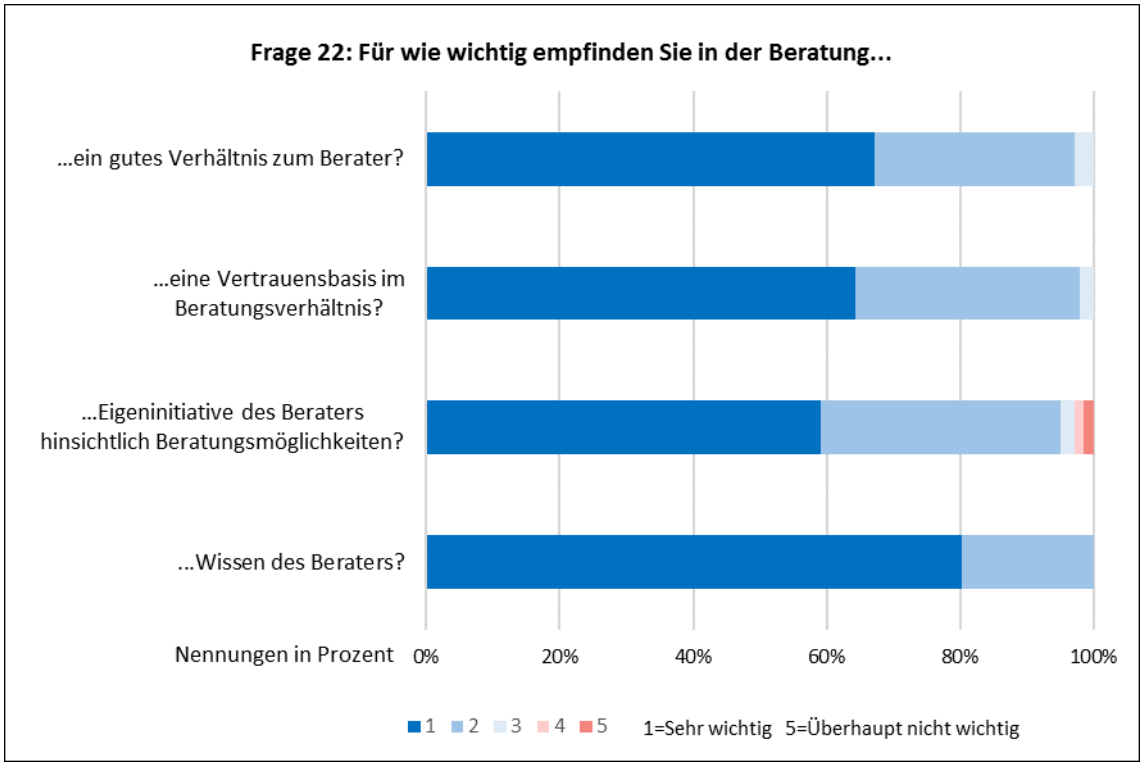


Abbildung 233: Prozentuale Verteilung Antworten für Frage 22

Die Bedeutung des Vertrauens wird auch in einer der vier Antworten zu Frage 22 „Weitere Aspekte / Kommentare“ deutlich herausgestellt: *„Vertrauensbasis, dass meine Daten nicht weitergegeben werden und ich offen sprechen kann“.* An dieser Stelle wird noch einmal die Bedeutung von Datenschutzbestimmungen, die die Interessen aller Parteien berücksichtigen, ersichtlich.

Die letzte Frage der Online-Befragung (Frage 24: Haben Sie sonst Verbesserungsvorschläge für die Kooperationsarbeit?) erhielt zehn Antworten. Zwei davon waren rein positiver Natur (*„alles Top“*, *„Nein, der [Kooperationsname] hat ein hervorragendes Konzept, an dem wir gerne Teil nehmen. Dies ist nur weiter zu empfehlen.“*), vier davon bezogen sich auf die Bedeutung von Öffentlichkeitsarbeit (*„Mehr Öffentlichkeitsarbeit wie Facebook etc.“, „es ist nicht besonders förderlich wenn der BDEW ins Bauernbashing einsteigt“, „Zunächst einmal nicht auf die Bauern rumhauen, öffentlich auf die gute Gewässerqualität hinweisen, auf die gute Zusammenarbeit mit den Landwirten hinweisen“, „moderierte Veranstaltungen mit allen Beteiligten in den Wasserkooperationen“*).

Einer der Vorschläge thematisierte die Begrenzung der Güllemengen (inklusive die von „fremder Gülle“) in roten Wasserschutzgebieten und regte eine flächendeckende Herbst-N_{min}-Beprobung an: *„Das Problem in überdüngten Gebieten sind wohl einfach die zu hoch anfallenden Güllemengen. [Sie werden] entsprechend in einer viel zu hohen Gabe ausgebracht (zumindest bei Mais ohne weiteres möglich). Das Problem ist natürlich extrem komplex, aber man müsste es schaffen fremde Gülle (zB aus Holland Richtung Niederrhein) aus roten Gebieten fernzuhalten. Bei einer flächendeckenden staatlichen Bodenprobenahme müssten sich alle an die gleichen Richtwerte halten.“*

Insgesamt ist hervorzuheben, dass Rückmeldungen auf Fragen, die die Haltungen der Landwirte in Hinsicht auf ihre eigene Kooperationsarbeit abfragen (und nicht z. B. zu ihrer Haltung zu Flächenmaßnahmen im Allgemeinen), überwiegend sehr positiv sind (vgl. hierzu Abbildung 226, Abbildung 227, Abbildung 228, Abbildung 232 und Abbildung 233). Die Ergebnisse dieser Akzeptanzanalyse sind zwar nicht repräsentativ, weisen trotzdem auf substanzielle Erfolge des freiwilligen Kooperationsmodells in NRW hin.

8 Zusammenfassende Bewertung und gutachterliche Handlungsempfehlungen

8.1 Erfolge und Misserfolge des kooperativen Gewässerschutzes

8.1.1 Einleitende Bemerkungen

Seit Verabschiedung des 12-Punkte-Programms im Jahre 1989 (NRW Landesregierung et al. 1989) setzte das NRW-Modell der freiwilligen Trinkwasserkooperationen auf einen dezentralen Ansatz, in dem Wasserversorger und die in ihren Wasserschutzgebieten wirtschaftenden Landwirte ihre Organisationsform, Beratungskonzepte, Förderansätze und Maßnahmenkataloge gemeinsam definieren.

Dreißig Jahre später gibt es mehrere Aspekte des NRW-Modells, die als deutliche Erfolge verbucht werden können. Einerseits lässt sich eine Vielfalt an unterschiedlichen Ansätzen erkennen, um den Stoffeintrag aus der Landwirtschaft zu reduzieren, andererseits auch vielfältige Organisationsformen und Maßnahmen, die diese Minderungen leisten. Grundlage einer jeden Kooperationsarbeit ist eine Wasserschutzberatung, die zu ihren Zielen die Minderung von Stickstoffüberschüssen bzw. PSM-Einträgen zählt, z. B. mittels der Erstellung von Nährstoffvergleichen, der Düngeplanung oder Frühjahrs-N_{min}-Proben. Darüber hinaus haben sich in den untersuchten Kooperationen unterschiedliche Schwerpunkte in der Kooperationsarbeit herausgebildet, wie z. B.

- die Umsetzung von flächenbezogenen Fördermaßnahmen (z. B. unterschiedliche Arten des Zwischenfruchtanbaus),
- die Extensivierung von Grünland und von Ackerflächen mittels N-Reduzierung und Ausgleich des Ertragsverlustes (Prämienmodelle),
- die Ertragssteigerung bei gleichbleibendem Düngungsniveau (da mehr Ertrag zu geringeren N-Überschüssen im Boden führt), und
- eine Kombination von effizienter Düngung und dem Verleih moderner landwirtschaftlicher Technik mit reduzierter Bodenbearbeitung, die zu einer reduzierten N-Mineralisation und Stickstoffauswaschung führt.

Auch auf Ebene der einzelnen Maßnahmen hat das dezentrale Modell zu einer breiten Vielfalt der Gewässerschutzmaßnahmen geführt. In den Kooperationen findet sich eine große Vielfalt einzelflächenbezogener Maßnahmen, u. a. vielfältige Varianten des Zwischenfruchtanbaus sowie unterschiedliche Modelle der Prämienförderung nach erreichtem Herbst-N_{min}-Wert. Bei Letzterem handelt es sich um eine Art „Kombi-Maßnahme“, die an Auflagen gebunden ist und mehrere Empfehlungen ausspricht, die es aber dem Landwirt überlässt, wie er seine Herbst-N_{min}-Werte senkt. Weitere Maßnahmen umfassen Extensivierungsauflagen wie auch die Düngung nach Grünlandtemperatursumme 200. Dazu kommen eine Vielzahl von betriebsbezogenen Maßnahmen, wie z. B. die Erweiterung der Lagerkapazität, bauliche Verbesserungen für Lager von Festmist und Futterresten, die Beteiligung an Anschaffungskosten für bodennahe, verlustarme Ausbringungstechnik und die Förderung zur Anschaffung von Mulchgeräten sowie von Geräten zur Grünlandpflege. Darüber hinaus werden Beratungsinstrumente entsprechend dem jeweiligen Beratungsansatz angewendet, wie z. B. die Förderung von Frühjahrs-, Spätfrühjahrs- und/oder Herbst-N_{min}-Proben auf einzelnen Schlägen bis hin zu allen Schlägen eines Betriebes im WSG sowie die Unterstützung bei Quantofix-Analysen.

Ein weiterer Erfolg des dezentralen Modells ist die den Kooperationen ermöglichte Flexibilität. Die Trinkwasserkooperationen in NRW haben eine hohe zeitliche und räumliche Reaktionsfähigkeit bei Veränderungen, die die Landwirtschaft im Kooperationsgebiet betreffen (z. B. Veränderungen in der Fruchtfolge sowie im Kulturenanteil, verbesserte Technik). Aufgrund der Tatsache, dass die Wasserversorgungsunternehmen die Kooperationsaktivitäten finanzieren und im Nachhinein ihre Aufwendungen mit den Wasserentnahmeentgelten verrechnen, liegt auch organisatorisch eine höhere Flexibilität vor als in Bundesländern mit überwiegend zentralen Modellen. Es ist z. B. vorgekommen, dass for-

male Fehler bei einer Ausschreibung seitens der zuständigen Behörde zum Ausfall einer N_{min}-Kampagne in zahlreichen Kooperationen eines Bundeslandes geführt haben, mit den entsprechenden Folgen für die dortige Beratung und Kooperationsarbeit.

Die oben dargestellte Vielfalt und Flexibilität sind von Bedeutung, weil sie eine Berücksichtigung der regionalen Merkmale, insbesondere der Eigenheiten der regionalen Landwirtschaft, ermöglichen. Beide werden in der Literatur als akzeptanzfördernde Faktoren gehandelt (Deimer, 2005). In den untersuchten Kooperationen war auch die freiwillige Teilnahme der Landwirte sehr hoch, i.d.R. wurden über 90% der Fläche des entsprechenden WSGs von Kooperationslandwirten bewirtschaftet. Dies ist ein weiterer, deutlicher Erfolg des NRW-Modells.

Dazu passen auch die überwiegend positiven Antworten zu den Fragen der in dieser Studie durchgeführten Akzeptanzanalyse, die die Haltungen der Landwirte bezüglich der Arbeit in ihrer Kooperation erfasst.[30] Diese Ergebnisse weisen auf substanzielle Erfolge des freiwilligen Kooperationsmodells in NRW hin, auch wenn die Analyse nicht repräsentativ für NRW ist.

Weniger positiv aus gutachterlicher Sicht ist die unterschiedliche Bedeutung der Effizienzkontrolle in den jeweiligen Kooperationen. Gebiete mit Prämienmodell führen naturgemäß breit angelegte Herbst-N_{min}-Kampagnen durch, die Effizienzkontrolle und Grundlage für Ausgleichszahlungen in einem Instrument vereinen. Es gibt auch Kooperationen, die Herbst-N_{min}-Kampagnen ohne Prämienauszahlung durchführen, entweder flächendeckend, zielgerichtet (z. B. auf Problemkulturen) oder aber nach einem Zufallsprinzip. Verbreitet sind auch in Auftrag gegebene hydrogeologische Untersuchungen, wobei die Aussagekraft der Ergebnisse von Faktoren wie Anzahl von Messstellen, Qualität und Länge der Zeitreihen, Kenntnis des Untergrunds (Denitrifikation) usw. abhängig ist. In anderen Kooperationsgebieten wiederum wird die Effizienzkontrolle vergleichsweise eher vernachlässigt. Allerdings erscheint es auch mitunter als fraglich, ob in jeder einzelnen Kooperation (manche davon mit knappen finanziellen Mitteln ausgestattet) ein bedeutender Betrag von der Förderung von Gewässerschutzmaßnahmen umgewidmet und in die Effizienzkontrolle dieser Maßnahmen investiert werden sollte (s. hierzu auch Kapitel 8.2).

Ein weiterer negativer Aspekt aus gutachterlicher Perspektive ist die auf Länderebene fehlende Zusammentragung und Nutzbarmachung des Wissens und der Daten, die im Rahmen des kooperativen Gewässerschutzes generiert werden. Landwirtschaftliche Gewässerschutzmaßnahmen sind nicht flächendeckend anwendbar, ihre Erfolge und sogar ihre Sinnhaftigkeit sind stark vom jeweiligen landwirtschaftlichen Kontext abhängig. Die weitreichenden Erfahrungen in unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kontexten mit erfolgreichen und weniger erfolgreichen Ansätzen und Maßnahmen, die im kooperativen Trinkwasserschutz in NRW gesammelt werden, werden derzeit nicht systematisch für den Gewässerschutz im restlichen NRW nutzbar gemacht. Eine stetige, fachliche Begleitung seitens einer Behörde wie das LANUV, mit dem Ziel einer systematischen Nutzbarmachung der reichen Erfahrungen des Trinkwasserschutzes in NRW, erscheint an dieser Stelle sehr erstrebenswert (s. hierzu auch Kapitel 8.2.3.1). Sie könnte dazu auch, was von den Landwirten sehr erwünscht ist (vgl. Kapitel 7.3), die Aufgabe der Öffentlichkeitsarbeit unterstützen, indem sie z. B. jährliche Fachveröffentlichungen zu den Erfolgen des kooperativen Trinkwasserschutzes im gesamten Bundesland erstellt. Unter ihre Aufgaben könnte auch die Datenerhebung fallen, die für eine verbesserte Bewertung der Ergebnisse der Kooperationsarbeit hilfreich wäre, wie z. B. die Erhebung von Herbst-N_{min}-Daten für Flächen außerhalb von Wasserschutzgebieten ohne Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen („Kontrastwerte“) (s. hierzu Kapitel 6.1).

Zum Aspekt „Verlagerung von Nährstoffproblemen“, d. h. dass es durch Verbesserungen in den Kooperationsgebieten gleichzeitig zu Verschlechterungen im angrenzenden Umfeld bzw. Grundwasserkörper gekommen wäre, konnten keine Erkenntnisse gewonnen werden. Potenzielle Verlagerungseffekte im Maßstab von Wasserschutzgebieten können nur mit räumlich und zeitlich entsprechend hochaufgelösten Datensätzen bewertet werden. Die heterogene Datenlage in den Gebieten erlaubte dies nicht. Des Weiteren ist die Dichte an Grundwassermessstellen außerhalb des Kooperationsgebietes wesentlich geringer als innerhalb der Wasserschutzgebiete.

[30] Vgl. hierzu Abbildung 224 bis 224, 228 und 229 in Kapitel 7.3.

Im Folgenden werden die für die Kooperationserfolge ursächlichen Maßnahmen dargestellt, deren Wirkung in dieser Studie direkt ermittelt werden konnte.

8.1.2 Systematische Ermittlung der Wirkung auf Maßnahmenebene

Für einen Teil der in den Kooperationen umgesetzten Maßnahmen konnten im Rahmen dieser Studie konkrete Wirkungsabschätzungen direkt ermittelt werden. Es handelt sich dabei um Grundsatzmaßnahmen des Gewässerschutzes.

Die vorgesehene Detailanalyse mit der Berechnung von Nitratkonzentrationen aus schlagspezifischen Herbst-N_{min}-Daten zur Bestimmung der Eintrittszeitpunkte von Maßnahmenwirkungen im Grundwasser erwies sich aufgrund der in Kapitel 6.3 erläuterten Methodik und den damit verbundenen erforderlichen Daten als nicht realisierbar. Es konnte jedoch die Abhängigkeit des Eintrittszeitpunkts von Maßnahmen bzw. Herbst-N_{min}-Gehalten von der Sickerwasserverweilzeit im größeren Maßstab bestätigt werden (s. Kapitel 8.1.3 „Systematische Ermittlung der Wirkung auf Kooperationsebene“). Im Folgenden muss daher auf eine Beurteilung des zeitlichen Eintritts der Wirkungen im Grundwasser verzichtet werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Verringerung von N_{min} im Boden und Nitrat im Grundwasser.

8.1.2.1 Maßnahme Zwischenfruchtanbau (Wirkung auf Einzelflächen)

Die Stickstoff-Aufnahmefähigkeit einer Zwischenfrucht ist von Jahr zu Jahr unterschiedlich, u. a. aufgrund der Witterung. Sie wird auch in vielerlei Hinsicht von der Vorfrucht mitbestimmt, z. B. in Hinsicht auf verfügbaren Bodenstickstoff und Erntetermin, der die Länge der Vegetationszeit der Zwischenfrucht beeinflusst (LWK NRW, 2017c). Dazu spielt auch die Art der Düngung auf einer Fläche, insbesondere die Höhe der organischen Düngung und die damit verbundene Mineralisationsleistung des Bodens, eine bedeutende Rolle.

Abbildung 234 stellt den Unterschied (Mediane) der Herbst-N_{min}-Werte für Getreideflächen mit Zwischenfruchtanbau im Mulchsaatverfahren und Flächen ohne Zwischenfruchtanbau vor einer Sommerung im WSG Weiler dar (weitere Ausführungen zur Methode in Kapitel 6.1.3). Je nach Jahr lag dieser Unterschied zwischen 30 und 70 kg N/ha, im Durchschnitt liegt er bei 49,9 kg N/ha. Der auf ähnliche Art ermittelte Unterschied für Getreideflächen mit und ohne Zwischenfrucht im WSG Zündorf liegt bei 30 kg N/ha.

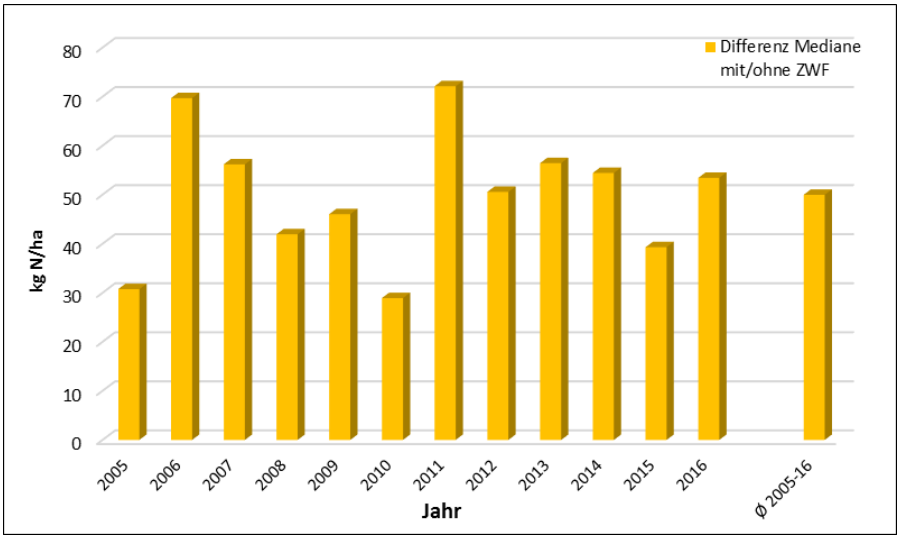


Abbildung 234: Unterschied zwischen Medianen der Grundmengen Getreideflächen mit Zwischenfruchtanbau (KMV) / ohne Zwischenfruchtanbau – WSG Weiler (2005-16)

Aufgrund von nur zwei mit diesem Ansatz ermittelten Werten für zwei WSG kann keine belastbare Schätzung der Maßnahmenwirkung für diese Maßnahme postuliert werden. Es darf allerdings aufgrund dieser Ergebnisse und der nachgewiesenen Minderungswirkung der Maßnahme in der Literatur (vgl. Osterburg et al. 2007, Schmidt und Osterburg 2010, Bach et al. 2016, Kauka 2017) angenommen

werden, dass die Maßnahme „Zwischenfruchtanbau“ (konventionell und im Mulchsaatverfahren) eine mehrjährige durchschnittliche Minderungswirkung zwischen 20 und 55 kg N/ha in den untersuchten Wasserschutzgebieten aufweist. Diese Bandbreite ist kohärent mit beobachteten aber nicht direkt messbaren Wirkungen des Zwischenfruchtanbaus vor Sommerungen in weiteren untersuchten WSG, z. B. Gatzweiler (Abbildung 88) und Dülken-Boisheim (Abbildung 95). Die Minderungswirkung einer Zwischenfrucht mit Mulchsaat scheint im mehrjährigen Durchschnitt ca. 5 kg N/ha höher zu liegen als die einer konventionellen Zwischenfrucht (Arbeitskreis Ackerbau und Wasser, 2012).

Diese Schätzung wurde für Flächen mit Vorfrucht Wintergetreide (überwiegend Winterweizen) durchgeführt, wobei etwa 70% bis 75% der Zwischenfrüchte in Deutschland nach Weizen angebaut werden (LWK NRW, 2017c). Wenngleich diese Wirkungen für Wintergetreide geschätzt werden, kann diese Schätzung auf ähnlich frühräumende Kulturen, wie z. B. Winterraps und Frühkartoffeln mit nachfolgender Sommerung, übertragen werden.

Die Schätzung steht im Einklang mit den Ergebnissen weiterer Studien zum Thema. Schmidt und Osterburg (2010) schätzen die Maßnahmenwirkung von Zwischenfrucht / Untersaaten etwas niedriger ein, mit einer Minderungswirkung in der Bandbreite zwischen 20 und 40 kg N/ha. Osterburg et al. (2007) dagegen schätzen die Minderungswirkung von einem Zwischenfruchtanbau im Bereich zwischen 20 und 60 kg N/ha ein. Diese geschätzten Minderungswirkungen gelten nur für die Flächen, auf denen in einem Jahr Zwischenfrüchte vor Sommerungen angebaut werden, also üblicherweise zwischen 20% und 45% der landwirtschaftlichen Fläche in einem WSG.

8.1.2.2 Maßnahme Kurzer Zwischenfruchtanbau (Wirkung auf Einzelflächen)

Mittels einer ähnlichen Analyse wurde die Minderungswirkungen einer kurzen Zwischenfrucht (auch als 60-Tage-Zwischenfrucht oder Sommerzwischenfrucht bekannt) zwischen Ernte von Wintergetreide und Aussaat von Winterweizen für die oben genannten zwei WSG geschätzt. Der Unterschied betrug knapp unter 40 kg N/ha für das WSG Weiler und 30 kg N/ha für das WSG Zündorf. Auch hier gilt, dass aufgrund von den ermittelten Werten für nur zwei WSG keine belastbare Schätzung der Maßnahmenwirkung für diese Maßnahme postuliert werden kann. Als zu überprüfende Annahme kann eine durchschnittliche Minderungswirkung zwischen 20 und 40 kg N/ha für diese Maßnahme postuliert werden. Der 60-Tage-Zwischenfruchtanbau wird auch nach Winterraps in den WSG durchgeführt. Aufgrund der Stichprobengröße (n=2) konnte sie allerdings für diese Kultur nicht bewertet werden. In Anbetracht der Erntetermine und Rest-N_{min}-Werte nach Winterraps kann auch hier davon ausgegangen werden, dass ihre Wirkung für dieses Fruchtfolgeglied in einer ähnlichen Größenordnung liegt.

8.1.2.3 Maßnahme Prämienförderung + Beratung

Es konnten für die Hauptkulturen Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Winterweizen, Wintergerste, Ackergras und Grünland Kontrastwerte gebildet werden, die den Herbst-N_{min}-Gehalt für Schläge, auf denen keine Grundwasserschutzmaßnahmen durchgeführt werden, abschätzen (vgl. Kapitel 6.1 zur Ableitung der Kontrastwerte). Der Vergleich der Mediane der Herbst-N_{min}-Werte für Flächen innerhalb eines WSGs mit diesen Kontrastwerten, je nach Kultur, ermöglicht eine grobe Schätzung der durchschnittlichen Wirkung der Kooperationsarbeit für die einzelne Kultur. Anders als bei Zwischenfrüchten, bei denen der Vergleich innerhalb des Wasserschutzgebietes stattfindet, wird bei diesem Vergleich die gesamte Kooperationsarbeit (also sowohl Maßnahmen als auch Beratung) gemeinsam bewertet.

Diese Schätzung ist aus mehreren Gründen als eher grob zu bezeichnen. Zum einen kann sie weder standortspezifische noch einige kulturspezifische Unterschiede (z. B. Früh- vs. Spätkartoffeln) berücksichtigen. Zum anderen sind die Kontrastwerte je nach Kultur unterschiedlich in ihrer Qualität. Den Gutachtern sind keine besseren Kontrastwerte bekannt. Sie regen daher an, für eine Effizienzkontrolle geeignete Herbst-N_{min}-Kampagnen in NRW durchzuführen (vgl. Kapitel 8.2.3). Aufgrund dieser Unschärfen sollten einzelne Werte, z. B. für die geschätzte Wirkung für eine Kultur in einem WSG, nicht überbewertet werden. Nichtsdestotrotz können aus Sicht der Gutachter die geschätzten Minderungswirkungen, insbesondere wenn sie aggregiert über mehrere Kulturen für ein WSG betrachtet werden, durchaus zur Einschätzung der Erfolge der Kooperationsarbeit verwendet werden (vgl. hierzu Kapitel 6.1.4).

Für Gebiete mit Prämienförderung, in denen die o. g. Kulturen auf über 80% der landwirtschaftlichen Fläche im WSG angebaut werden, wurde dieser Ergebnisse aggregiert, um die Größenordnung der Maßnahmenwirkung „Prämienförderung inkl. Beratung“ abschätzen zu können. Kulturen ohne Kontrastwerte wie „Sonstiges“ oder die Kulturengruppe „Gemüse“ wurden bei der Berechnung ausgelassen. Grundlage für diese Berechnung waren die Fruchtartenverteilung für das Jahr 2017 im jeweiligen WSG und die geschätzte Wirkung der Prämienförderung (2014-2017) (vgl. jeweilige Abbildungen mit Schätzung der Maßnahmenwirkung in Unterkapitel von 7.1). Tabelle 14 präsentiert die Ergebnisse für vier WSG.

Tabelle 14: Aggregierte Minderungswirkung von Prämienförderung in ausgewählten WSG

WSG	Art Prämienförderung	Aggregierte Wirkung Hauptkulturen	Kommentare
Emmerich-Helenenbusch	Teilgebiet	21 kg N/ha pro Jahr*	Wirkung unterschätzt aufgrund geogener Einflüsse bei Grünlandflächen.
Hartefeld	Teilgebiet	33 kg N/ha pro Jahr	
Flüren-Diersfordt-Blumenkamp	Teilgebiet	31 kg N/ha pro Jahr	
Dülken-Boisheim	Gesamtgebiet	13 kg N/ha pro Jahr*	Wirkung unterschätzt aufgrund nicht adäquater Kontrastwerte für Spätkartoffeln und fehlender Kontrastwerte für Gemüse.

Anders als die geschätzte Wirkung für Zwischenfrüchte, die nur für Flächen mit Zwischenfruchtanbau vor Sommerungen in einem Jahr gilt (die üblicherweise im Herbst 20% bis 45% der Flächen eines in dieser Studie untersuchten WSGs ausmachen), dienen die obenstehenden Zahlen der Schätzung der Minderungswirkung von Prämienförderung + Beratung **für jeden Hektar Fläche im Prämiengebiet**. Durch die bedeutenden Unsicherheiten sowohl in der Wirkungsschätzung für eine einzelne Kultur wie auch in der Aggregierung sollten diese Werte als grober Richtwert für eine Größenordnung der Minderungswirkung verstanden und mit Vorsicht interpretiert werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann mit entsprechender Vorsicht eine durchschnittliche Minderungswirkung zwischen 10 und 35 kg N/ha pro Jahr für die Maßnahme „Prämienförderung + Beratung“ in den untersuchten WSG angenommen werden, im Vergleich zu einer Landwirtschaft ohne Umsetzung von Trinkwasserschutzmaßnahmen. Diese geschätzte Wirkung gilt jedes Jahr für die gesamte Fläche in einem Prämienmodell. Sie wird von den Landwirten durch unterschiedliche Bewirtschaftungsanpassungen erreicht, wie z. B. eine reduzierte Düngung oder den Anbau von Zwischenfrüchten vor Sommerungen.

Die Minderungswirkung der Maßnahmen mit Prämienmodellen auf N_{min}-Gehalte im Boden wirkten sich auch auf die Nitratkonzentrationen im Grundwasser aus. Die in Bezug auf den gesamten Untersuchungszeitraum gemittelten Nitratgehalte lagen in den Prämiengebieten meist bei 50 bis 75 mg/l (Emmerich-Helenenbusch, Flüren-Diersfordt-Blumenkamp, Hartefeld) bzw. bei über 100 mg/l (Nettetal, Dülken, Lüttelbracht). Die Ermittlung der Wirkung der Maßnahme bezieht sich also auf entsprechend hohe Konzentrationsniveaus. Aus der Trendanalyse hinsichtlich des Parameters Nitrat gingen Abnahmeraten für die Messstellen in den Prämiengebieten hervor, die in der Regel bei -0,7 bis -2 mg/l pro Jahr lagen. Im Einzelfall (Dülken-Boisheim) erreichten die Abnahmeraten -3 mg/l pro Jahr. Die Nitratabnahme verlief in diesem Sonderfall jedoch abrupt und ist nicht zwangsläufig repräsentativ für andere Kooperationsgebiete. Mit der ermittelten Wirkungsspanne von bis zu -2 mg/l pro Jahr kann eine mäßige bis hohe Wirkungsintensität konstatiert werden, die hydrochemisch relevant ist. Die Spannweite der Maßnahmenwirkung auf die Nitratgehalte im Grundwasser kann potentiell auf weitere Gebiete übertragen werden. Sie zeigt jedoch auch, dass die genaue Wirkung individuell für jede Kooperation unter Berücksichtigung der Standortfaktoren zu ermitteln ist. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Nitratgehalte nicht linear auf nitratfreie Verhältnisse fallen, sondern ab gewissen Zeitpunkten stagnieren und auf entsprechend geringen Konzentrationsniveaus verharren.

8.1.2.4 Maßnahme Beratung

Die Maßnahme „Beratung“ konnte anhand von Herbst-N_{min}-Werten lediglich für ein Teilgebiet eines WSGs bewertet werden: das „Beratungsgebiet“ des WSG Hartefeld. In diesem sind die Bedingungen für eine erfolgreiche Kooperationsarbeit besonders günstig. Im benachbarten Prämiengebiet werden vergleichsweise hohe Prämien ausgezahlt, die für den Landwirt einen wirkungsvollen Anreiz darstellen können, sein Handeln anzupassen und praktische Erfahrungen zu sammeln. Die daraus resultierenden Änderungen in der Flächenbewirtschaftung können später den Flächen desselben Landwirtes im Beratungsgebiet in einem Maße zugutekommen, wie dies aufgrund einer reinen Beratung vielleicht nicht der Fall gewesen wäre. Darüber hinaus werden alle Flächen im Beratungsgebiet jeden Herbst nach N_{min} beprobt, womit der Landwirt für jede seiner Flächen im WSG eine direkte Rückmeldung zum Erfolg bzw. Misserfolg seiner Bewirtschaftung erhält.

Die Schätzung der Wirkung von „Beratung“ in diesem einen Gebiet (die dem gleichen Prinzip der Wirkungsaggregierung nach einzelnen Kulturen folgt wie oben für „Prämienförderung + Beratung“ beschrieben) beträgt 21 kg N/ha. Auch diese Zahl ist als ein grober Richtwert für die Größenordnung der Minderungswirkung der Beratung in diesem Gebiet zu interpretieren. Aufgrund der erwähnten sehr positiven Rahmenbedingungen wird dieser Wert als eine Art Obergrenze der Wirkung für eine reine Beratungstätigkeit betrachtet. Auf Basis der in der Literatur beschriebenen Minderungswirkungen (vgl. Osterburg et al. 2007, Schmidt und Osterburg 2010, Kauka 2017) schätzt der Gutachter die Bandbreite für die Wirkung der Maßnahme „Beratung“ zwischen 5 und 20 kg N/ha ein. Diese Wirkung wird sehr stark von der Beratungsintensität und dem Vorhandensein weiterer, beratungsunterstützender Maßnahmen abhängen, wie z. B. der Erstellung von Nährstoffplänen und der Bodenbeprobung auf N_{min} (Frühjahrs-N_{min}, Spätfrühjahrs-N_{min}, N_{min}-Proben zu Vegetationsende und Herbst-N_{min}).

Hinsichtlich der Maßnahmenwirkung im Grundwasser zeigten die Trendanalysen teilweise sehr unterschiedliche Ergebnisse, die auf heterogene Standortverhältnisse zurückzuführen sind. Das Beratungsgebiet Hartefeld liegt mit einem Median von -1 mg/l pro Jahr im unteren Wirkungsspektrum des Prämienmodells. Aufgrund der natürlichen Heterogenitäten ist davon auszugehen, dass die Wirkung lokal auch höher liegen kann. Der Wert unterliegt damit gewissen Unsicherheiten und sollte bestätigt werden.

8.1.2.5 Maßnahmengebiet (Beratung und Förderung des Zwischenfruchtanbaus)

Unter den sog. Maßnahmengebieten werden Gebiete mit einer Kombination aus Beratung und einer Förderung des Zwischenfruchtanbaus zusammengefasst. Die Evaluierung dieses Maßnahmentyps ist grundsätzlich anhand der WSG Gatzweiler und Flüren-Diersfordt-Blumenkamp und aufgrund fehlender Herbst-N_{min}-Werte in den Maßnahmengebieten nur mithilfe von Grundwasserdaten möglich. Da im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp keine Grundwassermessstellen im Maßnahmengebiet „Beratung und Förderung des Zwischenfruchtanbaus“ zur Verfügung standen, konnte die Wirkung nur für das WSG Gatzweiler ermittelt werden.

Dort wird außerhalb des Extensivierungsgebietes aktuell in der Schutzzone IIIb von den Landwirten im Wesentlichen die Förderung des Zwischenfruchtanbaus in Anspruch genommen, teilweise in Kombination mit dem Mulchsaatverfahren. Die Stichprobe (n = 18) untersuchter Grundwassermessstellen ist belastbarer als im WSG Flüren-Diersfordt-Blumenkamp. Da das oberflächennahe Grundwasser im WSG Gatzweiler jedoch infolge der bergbaulichen Sümpfung von Infiltrationswasser beeinflusst ist, ist die Bewertung mit Vorsicht zu behandeln. Die Spannweite der ermittelten Trends reicht von -11 bis +3 mg/l Nitrat pro Jahr. Der Median der Steigungsbeträge von rund -1 mg/l pro Jahr liegt im unteren Bereich der Wirkungsspanne der Prämiengebiete (s. Kapitel 8.1.2.3). Deutliche Unterschiede zu Gebieten, in denen die Beratungsleistung eine größere Rolle spielt, z. B. Hartefeld, wurden jedoch nicht identifiziert. Weitergehende Aussagen zu den spezifischen Maßnahmen konnten aufgrund der Datenlage nicht erfolgen.

8.1.2.6 PSM-Substitution

Im Hinblick auf die PSM-Substitution wurde das Fallbeispiel der Funne als hydrologisches Teileinzugsgebiet der Stever-Talsperre untersucht. Die Auswahl des Gebietes und der untersuchten PSM-Einzelwirkstoffe erfolgte vor dem Hintergrund, dass vor allem Nicosulfuron-Einträge aus dem des Teileinzugsgebiet der Funne zu Problemen in der Trinkwasseraufbereitung im Wasserwerk Haltern im

Jahr 2012 führten. Die Nicosulfuron-Applikation auf Maisflächen konnte teilweise durch die 2013 eingeführte Förderung des PSM-Wirkstoffes Foramsulfuron ersetzt werden.

Die Eintragssituation wird u. a. durch die hydrologischen Verhältnisse, insbesondere niederschlagsreiche Jahre und Starkregenereignisse, bestimmt. Es wurden Jahre mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen und lokalen Starkregenereignissen verglichen:

- 2012 (Behandlung praktisch aller Maisflächen mit Nicosulfuron) und
- 2016 (Einsatz sowohl von Nicosulfuron als auch Foramsulfuron auf Maisflächen).

Dazu wurden Messdaten und Ergebnisse eines vereinfachten Stoffbilanzmodells ausgewertet. Die Substitution führte dazu, dass der Grenzwert der GrwV (2017) / TrinkwV (2018) für PSM-Einzelwirkstoffe von 0,1 µg/l bzw. die ZHK-UQN der OGewV (2016) für Nicosulfuron von 0,09 µg/l im Teileinzugsgebiet der Funne weniger häufig und in geringerem Maß überschritten wurde. Während im Jahr 2012 noch maximal 1,4 µg/l Nicosulfuron gemessen wurden, lagen die Konzentrationen 2016 bei maximal 0,17 µg/l (Nicosulfuron) und 0,21 µg/l (Foramsulfuron).

Damit konnte eine Verringerung der PSM-Belastung mit Einzelwirkstoffkonzentrationen in der Funne grundsätzlich festgestellt werden, was in dieser Hinsicht als Erfolg der Substitutionsmaßnahme und der Kooperation gewertet werden kann. Gleichzeitig führte die Einführung der Maßnahme dazu, dass mit Foramsulfuron ein neuer PSM-Wirkstoff in das Teileinzugsgebiet der Funne eingetragen und in Konzentrationen >0,1 µg/l, nachgewiesen wurde. Eine damit verbundene Diversifizierung von PSM-Wirkstoffen ist allerdings kritisch zu sehen. Neu entwickelte Gräserwirkstoffe sollten vor allem ausgeprägte adsorptive Eigenschaften besitzen und eine geringe Halbwertszeit aufweisen.

Für einen nachhaltigen Gewässerschutz sollte der Fokus auf der Erhöhung des Bodenwasserrückhalts und der Minderung der Abflussgeschwindigkeit auf den Ackerflächen liegen. Damit würden die Fließzeiten verlängert, der Stoffabbau gefördert sowie das Erosionspotenzial (partikulärer Eintrag) gemindert werden. Diese Aspekte sind bereits in Form einer Bandbreite an Maßnahmen (z. B. Gewässerandstreifen, Streifensaat, Mulchsaat) im Förderkatalog der Kooperation enthalten und werden umgesetzt. Im Einzelfall können ggf. Anpassungen hinsichtlich der Förderkriterien erfolgen, um die hydrologische Wirkung der Maßnahmen zu gewährleisten, z. B. 30% Mindestbedeckungsgrad bei Mulchsaat. Die Extensivierung spezifischer Flächen mit abflussfördernden Eigenschaften bietet über die Fördermaßnahmen hinaus eine Möglichkeit zur Verringerung des PSM-Eintragspotenzials in oberirdische Gewässer.

8.1.3 Systematische Ermittlung der Effizienz auf Kooperationsebene

Die systematische Ermittlung der Maßnahmeneffizienz erfolgt auf der gesamten Kooperationsebene als Synthese der Ergebnisse aus den landwirtschaftlichen Analysen und den wasserwirtschaftlichen Untersuchungen. Für die Wasserschutzgebiete Emmerich-Helenenbusch, Flüren-Diersfordt-Blumenkamp, Hartefeld, Gatzweiler und Dülken-Boisheim konnten innerhalb der Teilgebiete mit ausreichender Datenlage, d. h. Herbst-N_{min} und Nitrat im Grundwasser für längere Zeiträume >5 Jahre (meist Prämiengebiete), lineare Zusammenhänge zwischen Herbst-N_{min}-Gehalten und Nitrat im Grundwasser herausgearbeitet werden. Unter Berücksichtigung der Verweilzeit in der ungesättigten Zone (Reaktionszeit) wurden Bestimmtheitsmaße (R^2) zwischen 0,24 und 0,79 mit schwachen bis mittleren Zusammenhängen ermittelt. Diese zeigen, dass die Datenlage mit gemittelten Herbst-N_{min}- bzw. Nitratwerten und konstanten Grundwasserneubildungen aus dem Modell mGROWA 1971-2000 (FZ Jülich 2013) es nicht für jedes Gebiet erlaubt, einen einfachen Zusammenhang zwischen Herbst-N_{min} und Nitrat herzustellen. Vermutlich ist die Komplexität der Standortfaktoren zu hoch. Bei den höchsten Bestimmtheitsmaßen (R^2>0,6) wurden in den Gebieten Emmerich-Helenenbusch, Flüren-Diersfordt-Blumenkamp und Dülken-Boisheim Steigungen von 2 bis 7 mg/l Nitrat bei einer Änderung der Herbst-Nmin um 10 kg N/ha bestimmt. Die hydrogeologischen Systeme reagieren sehr unterschiedlich auf Änderungen der potentiellen Nitrat-Einträge. Eine mögliche Erklärung bieten unterschiedlich hohe Nitratabbaupotentiale in der ungesättigten Zone sowie die lokale Grundwasserneubildung (Verdünnung).

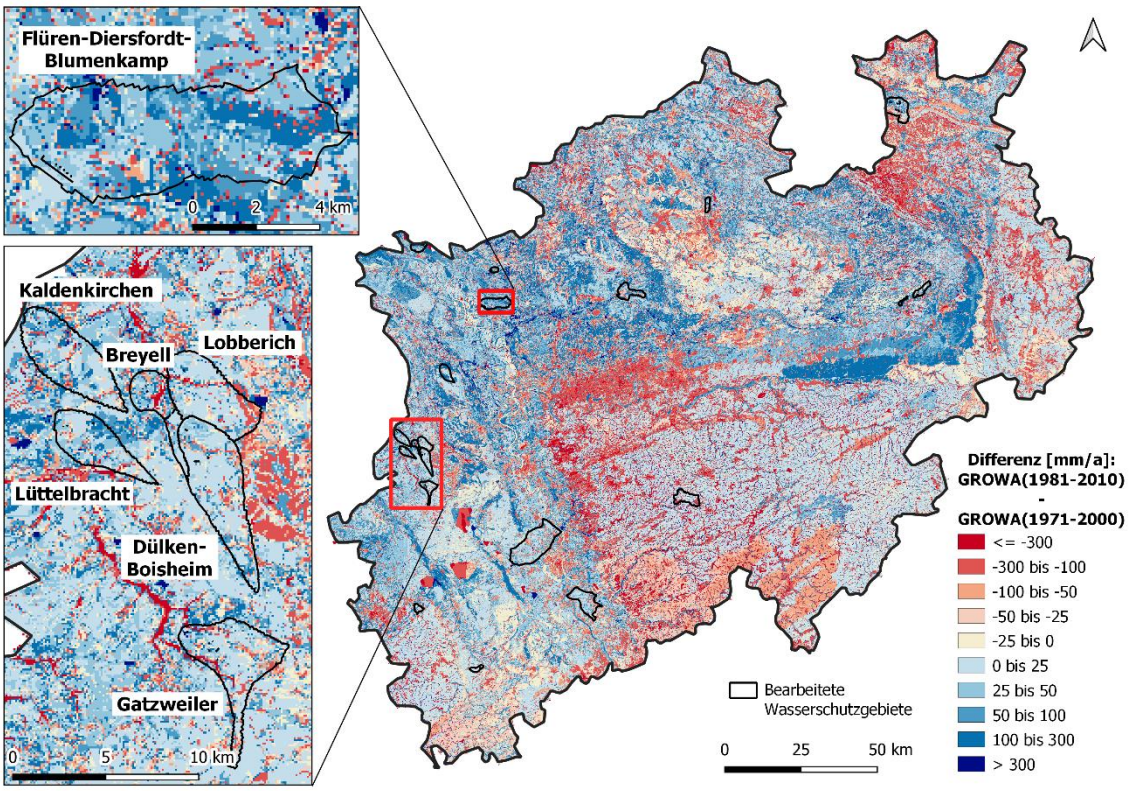


Abbildung 235: Berechnete Differenzen der jährlichen Grundwasserneubildungen aus dem Modell mGROWA des FZ Jülich von 1981-2010 (Herrmann et al. 2019) abzüglich der Werte aus dem Zeitraum 1971-2000

(FZ Jülich 2013)

Die flächendifferenzierte Grundwasserneubildung für das Land NRW wurde im Rahmen des Projektes *„GROWA+ NRW2021“* für den Zeitraum 1981-2010 berechnet (Herrmann et al. 2019). In Abbildung 235 sind die Differenzen der Modellergebnisse aus zwei verschiedenen Zeiträumen dargestellt. Insgesamt zeigen sich regionale Unterschiede bei den jährlichen Grundwasserneubildungen des mGROWA-Modells aus dem Zeitraum 1981-2010 gegenüber 1971-2000, z. B. am Nordwest- bzw. Westrand des Rheinischen Schiefergebirges mit wesentlich höheren Werten und oder in der Niederrheinischen Bucht mit sehr schwach erhöhten (z. B. Dülken-Boisheim) bis erhöhten Neubildungen (z. B. Flüren-Diersfordt-Blumenkamp). Die Ursachen der Abweichungen liegen vor allem in den Datengrundlagen (anderer Zeitraum, präzisere Daten bzgl. Grundwasserflurabstand, Versiegelungsgrad etc.) und in der Berechnungsmethodik für mehrere Standorttypen (Herrmann et al. 2019). Unter Verwendung der neuen Ergebnisse aus mGROWA (1981-2010) und dem Ansatz der DVGW & DWA (2019) zur Abschätzung der Nitrat-Sickerwasserkonzentrationen wären nun im Vergleich zu den in Kapitel 7.2 berechneten Werten nur leicht geringere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zu erwarten.

Mit Hilfe der Modelle mGROWA, DENUZ und WEKU wurden unter Berücksichtigung der Denitrifikation in der ungesättigten Zone landesweit Nitrat-Sickerwasserkonzentrationen modelliert (Kunkel & Wendland 2019). Diese können nur mit den WSG verglichen werden, für die in der vorliegenden Studie ebenfalls Sickerwasserkonzentrationen abgeschätzt werden konnten. Für die Gebiete Gatzweiler, Dülken-Boisheim und Hartefeld mit Sickerwasserkonzentrationen zwischen 100 und 120 mg/l Nitrat (s. Kapitel 7.2) wurden von Kunkel & Wendland (2019) 75 – 100 mg/l berechnet. Die Abweichung in Emmerich-Helenenbusch und Flüren-Diersfordt-Blumenkamp fällt höher aus, was wahrscheinlich auf einen Nitratabbau in der ungesättigten Zone zurückzuführen ist. Die Unterschiede sind auf die verschiedenen Datengrundlagen mit flächengewichteten Herbst-N_{min}-Werten in der vorliegenden Studie gegenüber Daten aus den Modellen mit N-Bilanzüberschüssen und atmosphärischer N-Deposition zurückzuführen.

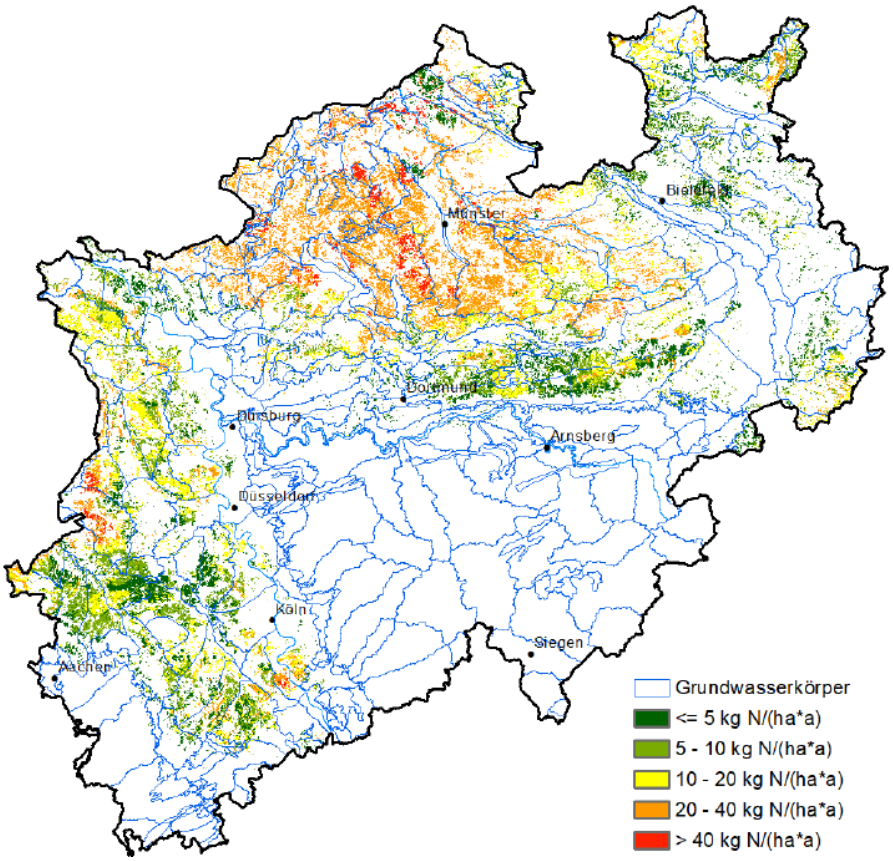


Abbildung 236: Modellierter N-Minderungsbedarf in den „roten GWK“ aus mGROWA-DENUZ-WEKU

(Kunkel & Wendland 2019)

Aus den Nitrat-Sickerwasserkonzentrationen wurde der N-Minderungsbedarf ermittelt (s. Abbildung 236). Dieser fällt für die Niederrheinische Bucht mit teilweise <5 kg N/ha bis vereinzelt >40 kg N/ha (z. B. Lüttelbracht, Kaldenkirchen-Grenzwald, Breyell, Lobberich) heterogen aus, während in der Westfälischen Bucht überwiegend Werte von 20 bis 40 kg N/ha festzustellen sind. Beispielhaft sind in Abbildung 236 für die WSG der Kooperation Nettetal und das WSG Dülken-Boisheim Minderungsbedarfe von je >40 kg N/ha und 5 bis 10 kg N/ha abzulesen. Angesichts der hohen angetroffenen Nitratkonzentrationen in den WSG der Kooperation Nettetal von meist über 100 mg/l erscheint ein Minderungsbedarf von mehr als 40 kg N/ha plausibel. Für Dülken-Boisheim würde sich nach Anwendung des ermittelten linearen Zusammenhangs zwischen Herbst-N_{min} und Nitratkonzentration im Grundwasser (s. Analyse Dülken-Boisheim, Kap. 7.2.9) hingegen nur eine Verringerung um etwa 7 mg/l ergeben. Bei einer mittleren Nitratkonzentration von ca. 100 mg/l in den Vorfeldmessstellen erscheint dies allerdings als nicht ausreichend. Vielmehr würde sich auf Grundlage dieser Studie ein Minderungsbedarf von ca. 60 kg /ha ergeben, was bei einem aktuellen flächengewichteten Herbst-N_{min} von rund 80 kg N/ha enorm wäre. Der Unterschied im Minderungsbedarf ergibt sich womöglich aus den unterschiedlichen Datengrundlagen der vorliegenden Studie und denen von Kunkel & Wendland (2019). Während die Auswirkungen des Kartoffel- und Gemüsebaus mit hohen Herbst-N_{min}-Gehalten gut durch diese abgebildet werden, ist dies mit den RAUMIS-Daten nicht oder nur begrenzt möglich. Mit den untersuchten Beispielen wurden neben regionalen Übereinstimmungen auch lokale Unterschiede zwischen der landesweiten Modellierung und den gebietsspezifischen Berechnungen sowie zwischen den verwendeten Datengrundlagen dokumentiert.

Grundsätzlich konnte anhand der in Kapitel 7.2 durchgeführten Korrelationsanalysen gezeigt werden, dass Herbst-N_{min}-Gehalte und Nitrat im Grundwasser nicht in jedem Gebiet gleichermaßen als Erfolgsparameter auf Kooperationsebene herangezogen werden können.

In Abbildung 237 ist eine Übersicht zu den Bewertungsergebnissen aufgeführt. Eine weitere Untergliederung fand auf Grundlage der Aufschlussart (Brunnen oder Vorfeldmessstellen) und der Teilgebiete im WSG (Prämiengebiet oder Maßnahmen- bzw. Beratungsgebiet) statt. Es zeigt sich insgesamt, dass die Kooperationsgebiete in der Regel keine steigenden Nitratentwicklungen aufweisen. Mit Ausnahme eines Einzelfalls (Rohwasser im WSG Lüttelbracht) wurden keine Entwicklungen mit überwiegend oder deutlich steigendem Charakter konstatiert.

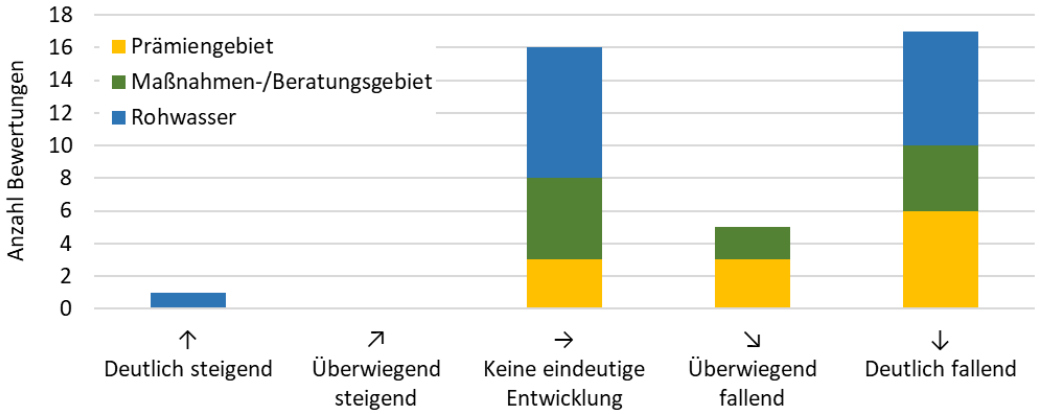


Abbildung 237: Übersicht zur Bewertung der Nitratentwicklung in Prämien-, Maßnahmen- bzw. Beratungsgebieten und in Rohwässern

Am häufigsten wurden keine eindeutigen Nitratentwicklungen festgestellt, wobei dies meist die Rohwässer und teilweise auch die Maßnahmen- bzw. Beratungsgebiete betrifft. Ein ähnlich großer Anteil zeigt Entwicklungen, die einen überwiegend oder deutlich fallenden Charakter aufweisen. Diese können nahezu in gleichen Teilen für die Prämien-, Maßnahmen- und Beratungsgebiete sowie für die Rohwässer festgestellt werden.

Die Bewertung muss jedoch auch unter Berücksichtigung der Konzentrationsniveaus erfolgen. In Tabelle 15 sind die zusammenfassenden Bewertungen der Kooperationsgebiete mit entsprechenden Nitratkonzentrationen (Mediane der Messstellen mit zeitlich gemittelten Nitratwerten) aufgeführt. Die meisten Gebiete zeichnen sich durch erhöhte Nitratkonzentrationen in den Vorfeldmessstellen von meist 50 bis über 100 mg/l aus. In der Regel zeigen sie deutlich fallende bzw. überwiegend fallende Entwicklungen hinsichtlich der Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Dazu zählen die Wasserschutzgebiete Emmerich-Helenenbusch, Flüren-Diersfordt-Blumenkamp, Hartefeld, Gatzweiler, Dülken-Boisheim und Kinderhaus (Münster). Im Hinblick auf die Konzentrationsniveaus von meist 50 bis 75 mg/l (Ausnahme WSG Dülken-Boisheim) sind die vorliegenden Abnahmeraten, die auf die Kooperationsleistung zurückzuführen sind, langfristig als zielführend einzustufen. Die Rohwässer der genannten Gebiete besitzen daher meist abnehmende Nitratentwicklungen. Die Mediane der Nitratkonzentrationen betragen in den Vorfeldmessstellen jedoch weiterhin Werte über 50 mg/l (Prämiengebiet).

Durch die individuelle Analyse von Nitrat-Ganglinien wurde allerdings gezeigt, dass die Trends für die betrachteten Zeiträume nicht immer gleichförmig sind. Zwischenzeitlich stellten sich Trendumkehren und Stagnationen ein, die teilweise einen sehr abrupten, unvorhersehbaren Charakter haben und von einer Reihe von Faktoren beeinflusst werden:

Tabelle 15: Zusammenfassende Entwicklungen der N_{min}-Gehalte im Boden und der Nitratkonzentrationen im Grundwasser auf Maßnahmenebene der Kooperationen

WSG	Klasse N-Bilanzüberschüsse Jahr 2015-16 (Gemeindeeb.) LWK/vTI 2017	Boden Herbst-Nmin	Nitratentwicklung im Grundwasser			Bemerkungen
			Prämiengebiet	Maßnahmen-/Beratungsgebiet	Rohwasser*	
Helenenbusch		→	↓	→	↓	Prämiengebiet: Median Trend **-2 mg Nitrat/l pro Jahr**; fallend bis Anfang 2000, seitdem stagnierend
Mussum		→	→		↓	Prämiengebiet: Median Trend **-0,5 mg Nitrat/l pro Jahr**; räumlich heterogene Entwicklung; seit 2009 lokal stark steigende Trends im Intensivberatungsgebiet
Flüren-Diersfordt		→	↘	Dat. n. a. (n = 1)	↓	Prämiengebiet: Median Trend **-0,8 mg Nitrat/l pro Jahr**; fallend bis Mitte 2000er, seitdem stagnierend
Hartefeld		→	↘	↘	→	Prämiengebiet: Median Trend **-1 mg Nitrat/l pro Jahr**; Beratungsgebiet mit heterogenen Standortverhältnissen
Kaldenkirchen		→	↘	n. v.	→	Prämiengebiet: Median Trend **-0,8 mg Nitrat/l pro Jahr**; räumlich heterogene Entwicklung mit teilweise fallenden oder stagnierenden Trends
Breyell und Lobberich			→	n. v.	→	Prämiengebiet: Median Trend **0 mg Nitrat/l pro Jahr**; räumlich heterogene Entwicklung mit teilweise fallenden, stagnierenden oder steigenden Trends
Lüttelbracht		→	→	n. v.	↑	Prämiengebiet: Median Trend **-0,7 mg Nitrat/l pro Jahr**, räumlich heterogene Entwicklung, Brunnen 1990 bis 2010 stark steigend, seitdem Anstieg schwächer
Gatzweiler		→	↓	↘	↓	Prämiengebiet: Median Trend **-2 mg Nitrat/l pro Jahr**; Maßnahmengeb.: Median Trend **-1 mg Nitrat/l pro Jahr**; fallender Trend teilweise wg. Infiltrationswasser
Dülken		→	↓	n. v.	↓	Prämiengebiet: Median Trend **-3 mg Nitrat/l pro Jahr**; seit Mitte 2000er stagnierende Verhältnisse in GWM; seit 2013 stagnierende Verhältnisse in Brunnen
Hastenrather Graben		Dat. n. a.	n. v.	→	→	Keine signifikanten Entwicklungen erkennbar
Eicks-Mehlenbach		Dat. n. a.	n. v.	→	→	Bezug des Rohwassers auf Quellen
Weiler		→	n. v.	↓	Dat. n. a.	Grundwasserdaten als Gebietsmittelwerte aggregiert
Zündorf		↗	n. v.	↓	Dat. n. a.	Grundwasserdaten als Gebietsmittelwerte aggregiert
Meindorf		Dat. n. a.	n. v.	↓	→	Flächendeckend leicht fallend/stagnierend auf geringem Niveau, lokal Beeinträchtigung durch Hot Spots
Kinderhaus		Dat. n. a.	↓	n. v.	↓	Aussagen Prämienmodell unsicher mit n=2
Hedem		Dat. n. a.	n. v.	Einfluss Fremdwasser	→	Messstellen besitzen meist keine Nitratdaten; Brunnen weiterhin nitratfrei
Boker Heide		Dat. n. a.	n. v.	→	→	Einfluss Uferfiltrat; viele GWM nitratfrei; lokale Hot Spots mit 80 bis 100 mg/l Nitrat
Kerspetalsperre		Dat. n. a.	n. v.	↓	↓	Konzentrationsniveau sehr gering (8 bis 14 mg/l); Hinweise auf Wirkung der Maßnahme T200, jedoch keine gesicherten Aussagen möglich

Erläuterungen

*bei Ausbau in verschiedenen Tiefen bezogen auf flach ausgebaute Brunnen

n. v. - Art der Förderung im WSG nicht vorhanden

Dat. n. a. - Daten nicht vorhanden oder Datenlage nicht ausreichend (ggf. mit Erläuterung)

Mod. N-Bilanzüberschüsse [kg N/ha]	Herbst-Nmin-Niveau [kg N/ha]	Nitrat-Konzentrationsniveau [mg/l]
< 30	< 20	< 10
30 - 40	20 - 30	10 - 37,5
40 - 50	30 - 40	37,5 - 50
50 - 60	40 - 60	50 - 75
> 60	60 - 80	75 - 100
WSG anteilig in 2 Kl.	> 80	> 100

Bewertung der Nitrat- bzw. Herbst-Nmin-Entwicklung

- ↑ Deutlich steigend
- ↓ Deutlich fallend
- ↗ Überwiegend steigend
- ↘ Überwiegend fallend
- → Keine eindeutige Entwicklung

1) Die Dynamik der Grundwasserneubildung wird in den oberflächennahen Grundwasserleitern vor allem durch die Niederschlagshöhen und deren zeitlicher sowie räumlicher Verteilung bestimmt. In neubildungsreichen Jahren ist die Verdünnung hoch und die Nitratkonzentration des Sickerwassers entsprechend gering. In Zeiten sehr geringer Niederschlagsmengen erhöht sich hingegen die Nitratkonzentration im Sickerwasser, was in den Folgejahren erhöhte Einträge in das Grundwasser zur Folge hat. Durch diese Dynamik werden abrupte Konzentrationsschwankungen möglich.
2) Neben der Dynamik der Grundwasserneubildung können Systeme mit kurzen Sickerwasserverweilzeiten als maßgeblicher Standortfaktor empfindlicher auf Änderungen der Nitrateinträge oder der Grundwasserneubildung reagieren als Systeme mit langen Sickerwasserverweilzeiten, bei denen sich Sickerwasseranteile aus Jahren mit stark erhöhten Nitratkonzentrationen mit Jahren durchschnittlicher Gehalte in größerem Maß vermischen können.
3) Stagnationen deuten im Allgemeinen auf eine stabile Eintrags- und Grundwasserneubildungsdynamik hin. Im Kooperationsgebiet wird damit eine Stationarität der Nitratkonzentration im oberflächennahen Grundwasserleiter erreicht, was eine „Sättigung“ der Wirkung langjährig durchgeführter Kooperationsmaßnahmen bedeutet. Dabei spielen u. a. die Fruchtfolgen mit ihren Flächenanteilen, die Düngepraxis und die Bodenbearbeitung eine entscheidende Rolle. Diese Faktoren sind jedoch von Standortbedingungen abhängig, wobei hier vor allem Bodeneigenschaften (z. B. schwere Böden in der Bodenbearbeitung) und die landwirtschaftliche Intensität der Region zu nennen sind.

Eine detaillierte quantitative Zielprognose zum Erreichen bestimmter Konzentrationsniveaus kann daher nicht erfolgen. Die Abnahmeraten sollten jedoch aufrechterhalten bzw. wiederhergestellt werden, um die Nachhaltigkeit der Kooperationsarbeit zu gewährleisten. Erst dann kann davon ausgegangen werden, dass der Grenzwert von 50 mg/l langfristig unterschritten werden kann.

Einige Gebiete mit erhöhten Nitratkonzentrationen zeigten ein abweichendes Verhalten mit stagnierenden Nitratentwicklungen auf hohen Konzentrationsniveaus. Vor dem Hintergrund sehr hoher mittlerer Konzentrationsniveaus von 120 bzw. 140 mg/l in den Prämiengebieten der WSG Breyell und Lobberich sowie im WSG Lüttelbracht zeugen die stagnierenden Nitratentwicklungen von Ineffektivität. Die Mediane der Konzentrationsniveaus liegen in den genannten WSG für den aktuellen Betrachtungszeitraum 2014 bis 2016 weiterhin bei jeweils 110 und 130 mg/l. In den Gebieten fallen große Mengen Wirtschaftsdünger an, die auf eine hohe Viehbesatzdichte und Gülleimporte zurückzuführen sind. Darüber hinaus führt vor allem der Gemüseanbau zu hohen Herbst-N_{min}-Werten mit entsprechend hohen Nitrateintragspotenzialen in das Grundwasser. Prämien zur Einhaltung der Herbst-N_{min}-Gehalte besitzen hingegen wohl nicht ausreichenden Anreiz. Langfristig kann unter der vorherrschenden Bewirtschaftungspraxis nicht davon ausgegangen werden, dass eine Annäherung an den Nitrat-Schwellenwert der GrwV (2017) von 50 mg/l eintreten kann. Aufgrund des weitestgehend erschöpften Nitratabbaupotentials ist darüber hinaus auf lange Sicht zu erwarten, dass auch die Rohwasserkonzentrationen in den oberflächennah ausgebauten Förderbrunnen ansteigen werden, sofern dies noch nicht geschehen ist.

Zudem sind in Tabelle 15 Wasserschutzgebiete mit geringen bis mittleren Nitratgehalten <37,5 mg/l aufgeführt. Dazu gehören z. B. die WSG Hastenrather Graben, Eicks-Mehlenbach, Meindorf und Boker Heide. Die Nitratgehalte in den Vorfeldmessstellen weisen ausnahmslos auf geringem Niveau stagnierende bis leicht fallende Trends auf, was weitestgehend auch auf die Nitratentwicklung der Rohwässer zutrifft. Hier nehmen die Kooperationen eine bedeutende Rolle im Hinblick auf den vorsorgenden Grundwasserschutz ein, die bisher erfolgreich erfüllt wurde und die Effizienz der Maßnahmen unterstreicht. Auch mittel- bis langfristig wird davon ausgegangen, dass die Konzentrationen 50 mg/l weiterhin von den meisten Messstellen unterschritten werden.

8.1.4 Zusammenhang der Kooperationserfolge mit landwirtschaftlicher Intensität – „Störfaktoren“

Von den 19 Wasserschutzgebieten mit Schwerpunkt Stickstoffminderung lagen den Gutachtern für 13 Gebiete Herbst-N_{min}-Daten vor, für 12 davon war eine Wirkungsschätzung der Kooperationsarbeit für

eine variierende Anzahl an Hauptkulturen möglich (vgl. Kapitel 7.1). In jedem dieser 12 Gebiete ergab diese Schätzung für vier der sieben Hauptkulturen (Winterweizen, Wintergerste, Mais und – wenn angebaut – Zuckerrüben) eine positive Wirkung der Kooperationsarbeit. Die geschätzte Wirkung für Schläge mit Anbau von Kartoffeln, Ackergras oder Grünland fielen dagegen je nach Gebiet positiv oder aber negativ, zum Teil auch stark negativ aus.

Die in diesen WSG erreichten, durchschnittlichen Herbst-N_{min}-Werte liegen allerdings auf völlig unterschiedlichen Niveaus, wie an Tabelle 15 zu erkennen. Bei vielen der höheren Herbst-N_{min}-Durchschnittswerte ist davon auszugehen, dass die Sickerwasserkonzentrationen unter landwirtschaftlichen Nutzflächen dieser Kooperationen höher und zum Teil weit höher als die 50 mg Nitrat des Grenzwertes liegen. Die Tatsache, dass sich trotz festgestellter Minderungswirkung der Kooperationsarbeit sowohl Herbst-N_{min}-Werte als auch Nitratwerte auf sehr hohem Niveau befinden und mancherorts auf diesem Niveau stagnieren, hängt vermutlich mit der Intensität der Landwirtschaft in der jeweiligen Region zusammen.

Schlussfolgernd darf aufgrund der Ergebnisse dieser Studie davon ausgegangen werden, dass die Anstrengungen der untersuchten Kooperationen die Stickstoffbelastung im Vergleich zur Belastung durch herkömmliche, ordnungsgemäße landwirtschaftliche Praxis auf Schläge im jeweiligen Landkreis außerhalb des WSGs mindert. Jedoch scheint in einigen Fällen diese Minderungswirkung nicht ausreichend zu sein, wenn die Bedingungen in und um das WSG herum ungünstig sind und zu einem hohen N-Belastungsdruck führen.

Für die untersuchten WSG im Kreis Viersen kommen z. B. zahlreiche ungünstige Bedingungen zusammen: sehr hohe Stickstoffbilanzüberschüsse (LWK NRW und vTI 2017), ein hoher Anteil an den Problemkulturen „Gemüse“ und „Kartoffeln“ als Hauptfrucht (mit zum Teil extrem hohen Herbst-N_{min}-Durchschnittswerten), ein Anbau von Gemüse als Zweitfrucht nach früh räumenden Kulturen, und die Nähe zur niederländischen Grenze. Letztere führt zu einem erhöhten Gülleimport und dadurch zu einem erhöhten „Gülledrück“ in der Region, der die Aufnahme von Gülle aus der Kooperation bei benachbarten Landwirten oder ihren Export außerhalb des WSGs erschweren kann. Unter diesen Bedingungen gerät die Kooperationsarbeit an ihre Wirkungsgrenzen.

Es werden derzeit (Stand: März 2020) Verschärfungen des Ordnungsrechts verhandelt, insbesondere eine weitere Novellierung der Düngeverordnung. Im Idealfall werden diese Veränderungen mittelfristig zu einer Minderung der Stickstoffbelastung im Boden und im Grundwasser führen. Vor diesem Hintergrund könnten sich in Zukunft die Minderungswirkungen der Kooperationsarbeit ausreichend entfalten, um langfristig eine Einhaltung der Trinkwassergrenzwerte zu gewährleisten. Die Studie hebt die Notwendigkeit hervor, insbesondere für die Regionen in NRW mit einer intensiven Landwirtschaft (wie z. B. anhand modellierter N-Bilanzüberschüsse zu erkennen), einen düngerechtlichen Rahmen zu schaffen, der den Kooperationen eine Einhaltung der Trinkwassergrenzwerte langfristig ermöglicht. Dies scheint derzeit nicht überall gegeben.

Für die Zwischenzeit könnte über zusätzliche finanzielle Mittel für die WSG in diesen Regionen nachgedacht werden, um zusätzliche Anreize für den Trinkwasserschutz zu schaffen. Aus gutachterlicher Sicht besteht für Regionen in NRW mit intensiver Landwirtschaft ein zusätzlicher Finanzierungsbedarf.

8.2 Handlungsempfehlungen

8.2.1 Voraussetzungen für Effizienzkontrollen und Optimierungsmöglichkeiten

8.2.1.1 Landwirtschaft

Im Rahmen der Kooperationsarbeit werden in den untersuchten Trinkwasserkooperationen landwirtschaftliche Daten seitens der Wasserschutzberater bzw. des Wasserversorgers erhoben. Die Daten dienen zum einen administrativen Zwecken, insbesondere bilden sie oft die Grundlage für die Ausgleichszahlungen bzw. Prämienförderung. Zum anderen werden die erhobenen Daten vom Gewässerschutzberater der LWK sowohl für Zwecke der eigenen Analyse und Beratung als auch für die Berichterstattung gegenüber der Kooperation (Vorstandssitzung, Mitgliederversammlung) und im Rahmen des Austauschs in den Regionalen Arbeitsgemeinschaften verwendet. Einige Kooperationen, insbesondere die kreisweiten, veröffentlichen Jahresberichte zur Kooperationsarbeit, in die diese Daten einfließen.

Zwecks Verrechnungen der Kooperationsausgaben mit den Wasserentnahmeentgelten werden seitens der Wasserversorger Belege für die Aufwendungen (z. B. Personalabrechnungen, Investitionen in Geräte, Kosten für Probe und Analyse von Herbst-N_{min} für Zwecke der Effizienzkontrolle, usw.) an den Fachbereich 58 „Abwasserabgabe, Wasserentnahmeentgelt, umwelttechnische Berufe“ des LANUV zur Prüfung weitergegeben. Der FB 58 überprüft, dass die Aufwendungen unter die nach WasEG geförderten Tätigkeiten fallen und bewilligt die entsprechende Verrechnung. Es wird zusätzlich geprüft, ob der Empfänger Landwirt und Kooperationsmitglied ist und ob die Aufwendungen dem Rohwasserschutz dienen.

Aus Sicht der Gutachter stellen die Daten, die im Rahmen der Arbeit jeder Kooperation zusammengetragen werden, eine sehr bedeutende, derzeit jedoch nicht ausreichend genutzte Wissensressource für den Gewässerschutz in NRW dar. Ihre systematische Zusammenführung und Auswertung könnte sowohl als wichtige Unterstützung für die Umsetzung von Maßnahmen außerhalb der Kooperationen dienen, als auch eine systematische Ermittlung und Kommunikation der Erfolge der Kooperationsarbeit für die breite Öffentlichkeit ermöglichen. Aus Sicht der Gutachter sollten diese Daten, unter Berücksichtigung des Datenschutzes der Landwirte, nutzbar gemacht werden. Bedingung eines solchen Vorhabens ist, dass die mit dieser Aufgabe betraute Behörde, wie z. B. das LANUV, die notwendigen Ressourcen erhält, um die für diese Begleitung erforderliche Fachexpertise aufzubauen.

Diese Zusammenführung von Daten kann und sollte für den einzelnen Landwirt anonym stattfinden. Erfahrungen hierzu wurden schon in Niedersachsen gesammelt, wo die Kooperationen mittels des DIWA-Shuttles anonymisierte Daten an das NLWKN übermitteln. Auch in Niedersachsen spielte der Datenschutz des einzelnen Landwirts eine große Rolle in den Diskussionen, die diesem System vorausgingen. In früheren Jahren wurden Daten aggregiert übermittelt, mittlerweile wurden Formen gefunden, die die anonyme Übermittlung von Daten zu Einzelflächen ermöglichen.

Die Anforderungen an eine anonyme und strukturierte Weitergabe von Daten an eine zuständige Behörde könnte in einem Arbeitskreis erarbeitet werden. Für die Datenerhebung könnte eine einfache, strukturierte Vorlage auf Grundlage der in den jeweiligen Kooperationen schon angewendeten Datenerhebungsvorlagen entwickelt werden. Im Idealfall sollte diese Vorlage auch Informationen erheben, die derzeit nur in seltenen Fällen vorliegen, wie z. B. Angaben zum Anbau einer Zweitfrucht nach Ernte der Hauptfrucht, Art der Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung nach der Ernte bei Maisflächen, usw. Dabei muss der bürokratische Aufwand für Landwirt und Berater minimiert werden (s. hierzu auch Kapitel 8.2.3.1).

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Akzeptanzanalyse zeigt, dass der für die befragten Landwirte wichtigste Faktor, der sie zu ihrer freiwilligen Teilnahme an den Kooperationen bewegt, der Beitrag der Kooperationen zur Imageverbesserung der Landwirtschaft in der Gesellschaft ist (vgl. Kapitel 7.3). An dieser Stelle kommen Interessen der Landwirtschaft und des Gesetzgebers zusammen. Eine anonymisierte Datenweitergabe wäre eine notwendige Voraussetzung für öffentlichkeitswirksame Berichte seitens der Landesbehörden, die eben solch einen Beitrag zur Imageverbesserung der Landwirtschaft leisten können.

Wie in 8.1.1 angesprochen, wird die Effizienzkontrolle in den Kooperationen unterschiedlich gehandhabt. Bei Kooperationen mit knappen finanziellen Mitteln scheint es nicht unbedingt zielführend, Geld und Zeit von der Umsetzung von Kooperationsmaßnahmen in die Bestimmung ihrer Effizienz zu verlagern. Eine Förderung seitens des Gesetzgebers von Herbst-N_{min}-Kampagnen für diejenigen Kooperationen, die kein Prämienmodell umsetzen, könnte ein begrüßenswertes Instrument sowohl für die langfristige Effizienzkontrolle als auch für die Beratung sein. Sie würde auch die Datenbasis des kooperativen Gewässerschutzes in NRW verbessern.

Verbesserungswürdig ist auch die fehlende Transparenz hinsichtlich denjenigen landwirtschaftlichen Flächen in einem Wasserschutzgebiet, die Teil der (freiwilligen) Kooperation sind. In vielen Verordnungen zur Festsetzung eines Wasserschutzgebietes gilt ein Kooperationsvorbehalt. Einige Anforderungen dieser Verordnungen, wie z. B. das Anzeigeverfahren zur Anwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln gegenüber der zuständigen Wasserbehörde, gelten nicht für Flächen, die an der Kooperation teilnehmen. Derzeit ist es den zuständigen Behörden allerdings oft unklar, welche landwirtschaftlichen Flächen von der Kooperationsarbeit ausgenommen sind und für welche damit die Anforderungen der Verordnung gelten. Auch im Rahmen dieser Studie waren mündliche oder schriftliche Mitteilungen der Gewässerschutzberater zum Beteiligungsgrad der landwirtschaftlichen Betriebe sowie zur Abdeckung landwirtschaftlicher Fläche in einem Wasserschutzgebiet die einzige, für den Auftragnehmer nicht überprüfbare Datenquelle zum Beteiligungsgrad der landwirtschaftlichen Betriebe bzw. zur Flächenabdeckung der Kooperation.

8.2.1.2 Wasserwirtschaft und Hydrogeologie

Die wasserwirtschaftlichen Handlungsempfehlungen zielen auf die Beseitigung der Defizite ab, die sich insbesondere im Anlagen- und Datenbestand manifestieren. Grundsätzlich sind zu den wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Anlagenbeständen (Brunnen und Vorfeldmessstellen) ein einheitlicher Kenntnisstand in Bezug auf die Stammdaten, die geologischen Schichtenverzeichnisse, die Ausbaupläne, Wartungsdokumente, Probenahmeprotokolle sowie die Zustandserfassung der Anlagen notwendig. Darüber hinaus ist eine landesweit einheitliche hydrogeologische Systemanalyse der WSG-Kulisse mit Fokus auf folgende Aspekte wünschenswert:

- genutzte Brunnen und beobachtete Vorfeld-GWM,
- Grundwasserleiter,
- Grundwasserneubildung,
- Grundwasserdynamik,
- Deckschichten,
- Sickerwasser- und Grundwasserverweilzeiten,
- Kenntnisse zum Nitratabbau in der ungesättigten Zone und im Grundwasserleiter.

Dazu sollten die verfügbaren Informationen über Bodenverhältnisse, Hydrogeologie, Grundwasserflurabstand, klimatische Wasserbilanz etc. in einem Kooperationsgebiet herangezogen werden. Die erforderlichen Daten sollten weitestgehend existent sein, da sie den geologischen und hydrogeologischen Fachdaten im Arbeitsblatt W 101 der Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete (DVGW 2006) entsprechen. Auch spezifische geohydraulische Randbedingungen, z. B. temporäre und dauerhafte Flusswasserinfiltration (z. B. Weiler, Boker Heide, Meindorf), bergbauliche Sümpfungen (z. B. Gatzweiler), müssen bekannt sein und umfassend überwacht werden, da sie maßgeblichen Einfluss auf die Wasserbeschaffenheit haben können.

Bei wasserwirtschaftlich genutzten Talsperren ergibt sich eine besondere Situation hinsichtlich der Geschütztheit des Trinkwasserschutzgebietes. Das gesamte oberirdische Einzugsgebiet der Talsperre muss für eine effektive Kooperation in die Handlungskulisse einbezogen werden. Dieses Prinzip findet im Wasserschutzgebiet der Kerspetalsperre erfolgreich Anwendung. Zudem sollten nicht nur zufließende oberirdische Gewässer, sondern bei Bedarf – d. h. wenn der Talsperre signifikante Grundwasseranteile zufließen – auch das Grundwasser in deren Einzugsgebiet beobachtet werden, um eine Frühwarnfunktion wahrnehmen zu können, da der Stofftransport über den Basisabfluss langsamer erfolgt.

Qualitätssicherung des Messnetzes

Im Folgenden werden zentrale Aspekte der Qualitätssicherung im Hinblick auf die hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Anlagen- und Datenbestände behandelt. Die Zuständigkeit liegt bei den Wasserversorgern, da die Effizienzkontrolle vor allem in ihrem Interesse ist.

Im Rahmen der Kooperationen sollte sehr frühzeitig, falls möglich bereits während der Gründungsphase, eine qualifizierte Abschätzung vorgenommen werden, in welcher Zeitdauer mit einer Wirkung der grundwasserschutzorientierten Bewirtschaftung auf die Nitrat-Konzentration in der Wasserfassung zu rechnen ist. Vor Eintritt der Wirkungen von umgesetzten Kooperationsmaßnahmen sollte ein funktionsfähiges und effizientes Überwachungsmessnetz zur detaillierten Beurteilung des chemischen Zustands vor und während der Einführung von Maßnahmenprogrammen und zur Effizienzkontrolle ausgestaltet werden.

Damit für die Effizienzkontrolle und Maßnahmenoptimierung repräsentative Grundwasserproben zur Verfügung stehen, sollten die lokalen Grundwassermessnetze in den Wasserschutz- und Kooperationsgebieten den Anspruch der allgemein anerkannten Regeln der Technik erfüllen. Dies ergibt sich u. a. aus § 3 Abs. 1 TrinkwV (2018). Im Arbeitsblatt W 108 des DVGW (2003) sind die Grundlagen für die Planung und Einrichtung von Grundwassermessnetzen in Wassergewinnungsgebieten dargelegt. Die Grundwassermessstellen sollten vor allem so ausgebaut sein, dass die Auswirkungen der Kooperationsmaßnahmen, z. B. Prämienmodelle oder sonstige Maßnahmen, beurteilt und bei Bedarf optimiert werden können. Dies betrifft neben der Dichte der GWM auch die Tiefe der Verfilterung. Ein Ausbau in verschiedenen Teufen, z. B. als Messstellengruppe oder Multilevel-GWM, ist sinnvoll, da die Tiefenabhängigkeit der Nitratverteilung unter Umständen gut abgebildet werden kann.

Zum Vergleich sollten zusätzliche Messstellen außerhalb der Kooperationsgebiete als Referenzmessstellen zur Verfügung stehen. Grundsätzlich kann ein Abgleich mit dem LANUV-Messnetz erfolgen. Dazu können sich am Rand bzw. außerhalb der Kooperationsgebiete befindliche LANUV-Messstellen hinzugezogen werden. Diese liegen jedoch häufig weit vom Wasserschutzgebiet entfernt oder sind aufgrund der Zustromverhältnisse (Hydraulik, Landnutzung) als Vergleich nur bedingt geeignet. Die Eignung als Referenzmessstellen muss in jedem Fall detailliert geprüft werden. In der vorliegenden Arbeit konnten LANUV-Messstellen aufgrund des Ausbaus oder der teils großen Entfernungen zum Kooperationsgebiet nur begrenzt eingesetzt werden. Für aussagekräftige Analysen sollte die Verfügbarkeit eigener Referenzmessstellen sichergestellt werden. Die Referenzmessstellen sollten im selben Grundwasserleiter und in der gleichen Tiefenlage unter Grundwasseroberfläche verfiltert sein, wie die zur Effizienzkontrolle herangezogenen GWM im Kooperationsgebiet. Vorzugsweise sollte nicht der Grundwasserabstrom des Kooperationsgebietes erfasst werden, da hier langfristig die Nitratkonzentrationen durch die landwirtschaftliche Praxis im Kooperationsgebiet beeinflusst werden. Die lokalen Zustromgebiete der Referenzmessstellen müssen landwirtschaftlich geprägt sein und die landwirtschaftliche Praxis der außerhalb der Kooperation tätigen Betriebe widerspiegeln. Heterogenitäten der Böden oder der Standortfaktoren im Allgemeinen sollten sich durch eine entsprechende Anzahl an Referenzmessstellen im Kooperationsgebiet widerspiegeln.

In einem FuE-Vorhaben („Risikobasiertes Grundwassermonitoring für Wasserschutzgebiete“) des DVGW (2016) wurden Ansätze zur Bewertung und Optimierung von Messnetzen in Wasserschutzgebieten entwickelt. Diese wurden multikriteriell und softwaregestützt (Software „PROMETEUS“) in Abhängigkeit der Detektionswahrscheinlichkeit von potentiellen Gefährdungen, dem wasserwirtschaftlichen Nutzen einer erreichbaren Vorwarnzeit und der Betriebskosten des Messnetzes untersucht. Das Optimierungskonzept kann grundsätzlich auch auf landwirtschaftliche Kooperationen angewendet werden, bei denen der Eintritt einer Wassergefährdung durch beliebige Ereignisse, z. B. Veränderungen bei Kooperationsmaßnahmen oder lokal einsetzende Erschöpfung des Nitratabbaus, ersetzt werden können, um mögliche Anpassungen oder Optimierungen von Maßnahmen sowie deren Auswirkungen differenziert zu analysieren.

Qualitätssicherung des wasserwirtschaftlichen Datenbestandes und der -aufnahme

Bei der Analyse der 20 Wasserschutzgebiete wurden gravierende Unterschiede in Bezug auf den Parameterumfang festgestellt. Die hydrochemische Beprobung der Anlagen sollte jedoch nach einheitlichen Mindeststandards hinsichtlich des Parameterkatalogs und der zeitlichen Intervalle erfolgen.

Es sollten abgestufte Probenahmeintervalle (z. B. jährlich, halbjährlich, monatlich) entwickelt und dabei hydrochemische Besonderheiten berücksichtigt werden. Die Laboranalytik der Proben muss nach den geltenden deutschen Einheitsstandards erfolgen und Plausibilitätsgrenzen einhalten (Ionenbilanzfehler).

Die Dokumentation der erhobenen Daten inkl. auswertender Berichterstattung sollte in festen Zeitabständen (z. B. jährliche Monitoringberichte) und nach einheitlichen Standards erfolgen. In Baden-Württemberg erfolgt die Dokumentation des Kooperationsfortschritts z. B. im SchALVO-Nitratbericht. Die Auswertung der hydrochemischen Daten umfasst nicht nur Nitrat und/oder PSM, sondern auch die Begleitanalytik (hydrochemische Leitparameter, Ionenverhältnisse usw.) und die Ganglinienanalyse sowie die statistische Trendermittlung. Dabei müssen die Vorgaben der GrwV (2017) beachtet werden. Bei Implementierung von Grundwasserüberwachungsmaßnahmen kann ein regelmäßiger Abgleich zwischen den Ergebnissen des Monitorings und der Brunnenbewirtschaftung mit einer zeitlich selektiven Beprobung einzelner Brunnen erfolgen.

Für die Trinkwassergewinnung aus Talsperren sind die Analysen nicht ausschließlich auf Nitrat und PSM auszurichten. Weitere Parameter, z. B. Phosphate, mikrobielle Belastungen und Trübung, beeinträchtigen die Gewässergüte eines oberirdischen Gewässers zur Trinkwassernutzung und sind bei der Beurteilung der Maßnahmeneffizienz ebenfalls heranzuziehen.

Berücksichtigung klimatischer und hydrogeochemischer Randbedingungen

Sowohl bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen für Kooperationsmaßnahmen als auch für die Bewertung ist die Berücksichtigung klimatischer Entwicklungen, insbesondere der Grundwasserneubildung von großer Bedeutung, da sie maßgeblich die Dynamik des Nitrateintrags bestimmt. Langfristig deutet sich in Nordrhein-Westfalen eine defizitäre Grundwasserneubildung aufgrund der klimatisch bedingten Temperaturerhöhungen und der damit einhergehenden erhöhten Evapotranspiration an (LANUV 2016), die potentielle Folgen auf die Nitratdynamik hat. Veränderungen im Wasserhaushalt, z. B. Abnahme der Sommerniederschläge, wirken sich auf die Nährstoffaufnahme der Pflanzen aus. Die verringerte jährliche Grundwasserneubildung führt zudem zu einer entsprechenden geringeren Verdünnung des Nitrats im Sickerwasser. Die Lysimeterstation St. Arnold im Norden Nordrhein-Westfalens zeigt im Zeitraum 1965 bis 2015 einen signifikant fallenden Trend der Neubildung von 450 mm/a auf etwa 350 mm/a, wobei in einigen Jahren 200 mm/a unterschritten werden (LANUV 2016). Die Auswirkung ist vereinfacht anhand einer Gegenüberstellung der Grundwasserneubildung und der Abschätzung der Nitrat-Sickerwasserkonzentrationen gemäß DVGW & DWA (2019) in Abbildung 238 für zwei Fälle nachzuvollziehen. Bei einer Verringerung der Grundwasserneubildung von 450 mm/a auf 350 mm/a und einem Boden-N_{min}-Gehalt von 50 kg N/ha wären statt 45 mg/l, Sickerwasserkonzentrationen von etwa 60 mg/l Nitrat zu erwarten. In extremen Fällen, d. h. Boden-N_{min} von ca. 80 kg N/ha und 200 mm/a Neubildung statt 500 mm/a, beträgt die Konzentrationsdifferenz rund 100 mg/l. Aus diesem Grund sind klimatisch bedingte Minderungen der Kooperationserfolge möglich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer Verringerung der Grundwasserneubildung auch die Verlagerungsgeschwindigkeit des Nitrats in der ungesättigten Zone abnimmt. Die genauen Auswirkungen auf die Nitratdynamik im Grundwasser sind damit nicht vollumfänglich absehbar. Dies erhöht zusätzlich die Komplexität der Zielerreichungsprognosen für Messstellen und Kooperationsgebiete (s. Kapitel 8.1.3).

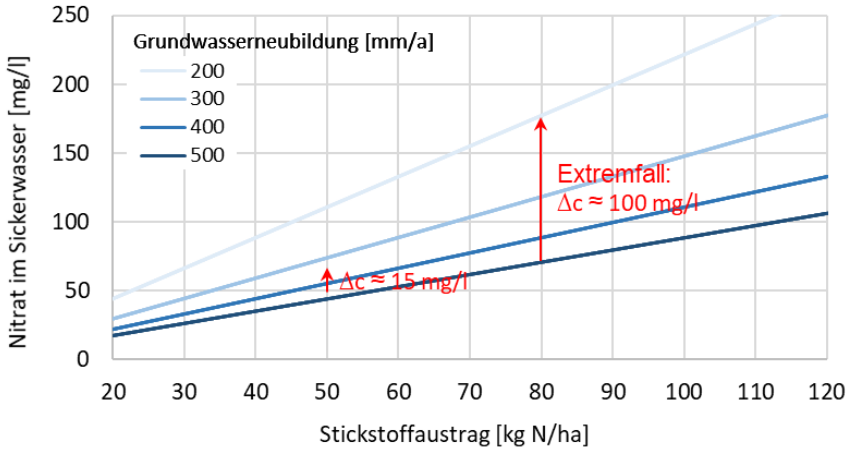


Abbildung 238: Vereinfachte Darstellung der Auswirkung einer verringerten Grundwasserneubildung auf die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für Böden mit nutzbaren Feldkapazitäten <200 mm (Austauschhäufigkeit des Bodenwassers 100%)

Ein ausgeprägter Nitratabbau im Untergrund führt bei Wassergewinnungsanlagen zu geringen Nitratkonzentrationen. Dabei werden organisch gebundener Kohlenstoff oder Eisendisulfide (Pyrit) oxidiert und Nitrat in Zwischenstufen zu Stickstoff reduziert. Die Prozesse sind irreversibel (Appelo & Postma 1996), d. h. die Reduktionsmittel (Pyrit und C_{org}) sind nur endlich im Grundwasserleiter verfügbar und werden durch den Prozess verbraucht. Nach laborativen Versuchen und modellhaften Berechnungen (DWA 2013) liegt die noch zu erwartende Lebensdauer des Nitratabbaus in Abhängigkeit von der Abschätzung des notwendigen reaktiven Materials für den Prozess jedoch bei einigen Jahrzehnten bis Jahrhunderten, ein kurzfristigerer Ausfall des Prozesses ist also nur bei sehr ungünstigen Standortfaktoren zu befürchten.

Maßnahmen zum Grundwasserschutz können die Verfügbarkeit der Reduktionsmittel verlängern (DVGW 2013). Bei einigen hier untersuchten Wasserschutzgebieten spielt der stattfindende Nitratabbau in der ungesättigten Zone bzw. im Grundwasserleiter aktuell noch eine entscheidende Rolle. Die Nitratkonzentrationen im Rohwasser und die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung werden daher durch das Zusammenspiel von Eintragssituation und zeitlichem Verlauf des Abbauvermögens bestimmt. Abschätzungen zum Nitratabbaupotential im Untergrund sind sowohl für die Bemessung als auch für die Effizienzkontrolle von Kooperationsmaßnahmen von zentraler Bedeutung. Das Abbaupotential sollte in die Maßnahmenoptimierung unbedingt miteinbezogen werden, um die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung sicherzustellen. Obwohl die Problematik bekannt ist, ist der Datenbestand diesbezüglich häufig nicht vorhanden oder stark begrenzt.

Vor dem Hintergrund sich verändernder klimatischer und hydrogeochemischer Bedingungen erscheinen weitere Datenerfassungen im Hinblick auf die Anpassungsfähigkeit der Kooperationen als sinnvoll. Mit Beprobungen des Sickerwassers unterhalb der N_{min}-Tiefenstufen können die realen Eintragsverhältnisse und ggf. der Nitratabbau in der ungesättigten Zone beurteilt werden. Ergänzende N_2-Ar-Messungen sowie Altersbestimmungen des Grundwassers in Vorfeldmessstellen und Brunnen zur Beurteilung des Nitratabbaus sind daher zielführend. Bei eindeutigen Anzeichen eines nachlassenden Nitratabbaus in Vorfeldmessstellen sollte eine sofortige Evaluierung der Maßnahmen erfolgen, um einen Durchbruch hoher Nitratkonzentrationen in das wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasser mit Auswirkung auf die Rohwassergewinnung zu verhindern.

8.2.2 Empfehlungen für die Arbeit der einzelnen Kooperationen

Als Folge des dezentralen Modells, in welchem die Kooperationen ihre Organisationsform, Beratungskonzepte, Förderansätze und Maßnahmenkataloge selber definieren, findet sich in den Trinkwasserkooperationen in NRW eine beeindruckende Bandbreite von Kooperationsansätzen sowie von Ge-

wässer- bzw. Grundwasserschutzmaßnahmen. Eine Analyse der Kooperationsansätze und Maßnahmen anderer Bundesländer ergab praktisch keine Ansätze oder Maßnahmen, die nicht schon Anwendung in NRW finden.

Die einzige relevante Ausnahme bildet die Initiative „Wasserschutzbrot“ aus Franken. Landwirte verzichten auf die letzte Düngungsgabe im Weizen und erhalten dafür einen Ausgleich des Wasserversorgers für die geringeren Proteingehalte und Abnahmepreise. Die Initiative wird öffentlichkeitswirksam umgesetzt: Das Logo der Initiative prangt auf den teilnehmenden Getreidefeldern, Verkaufsstellen lassen sich mittels eines Online-Webdienstes für ganz Franken leicht anzeigen. Die Initiative scheint besonders geeignet, einen Beitrag zur Verbesserung des in gewissen Teilen der Bevölkerung negativen Images der Landwirtschaft zu leisten (vgl. Kapitel 3.3).

Vernetzung und Wissensaustausch zwischen Kooperationen findet u. a. in mehreren Beratertagungen pro Jahr, den RAGs und in vierteljährlich erscheinenden Fachinformationen statt. Nichtsdestotrotz scheinen die Vernetzung und der Wissensaustausch unter den Kooperationen in NRW verbesserungsfähig zu sein. In den Gesprächen mit Beratern verwies der Gutachter mehrmals auf für die Berater überraschende Sachverhalte aus anderen, zum Teil benachbarten Kooperationen. Der fachliche Austausch unter Kooperationen im 1. Vernetzungstreffen der Kooperationen (Januar 2019) wurde von den Teilnehmenden begrüßt. An dieser Stelle könnten vermehrt auf fachlichen Austausch angelegte Treffen für ganz NRW (also jenseits der regelmäßigen Sitzungen der Regionalen Arbeitsgemeinschaften) interessant sein.

Die folgend dargestellten Ansätze stammen aus den untersuchten Kooperationen und scheinen besonders empfehlenswert für eine Aufnahme in weiteren Kooperationen. Jedoch sollten sie nicht als Universallösungen betrachtet werden – es bleibt jeder Kooperation selbst überlassen, ihre Sinnhaftigkeit im jeweiligen Kontext und auch angesichts der verfügbaren Mittel zu überprüfen. Die Ansätze zielen auf eine Verbesserung der Datenlage für die Beratung bzw. eine Verbesserung des Wissenstransfers ab. In einigen Kooperationen werden derzeit schon praktisch all diese Ansätze umgesetzt.

8.2.2.1 Kooperationseigene Feldversuche auf Flächen von Kooperationslandwirten

Mehrere Berater betonten die Bedeutung von Praxisversuchen auf Flächen von Kooperationslandwirten für ihre Kooperationsarbeit. Dazu zählen z. B. Demonstrationsversuche mit Düngefenstern, Technikversuche zum Anbau von Zwischenfrüchten mit unterschiedlichen Geräten / Arten der Bodenbearbeitung und Versuche mit unterschiedlichen Zwischenfruchtmischungen.

Diese Demonstrationsversuche haben sich aus Sicht der Berater sehr positiv auf die Kooperationsarbeit ausgewirkt und waren von grundsätzlicher Bedeutung, um Landwirte von den Auswirkungen einer Maßnahmenumsetzung bzw. Düngung auf Ertrag, pflanzenbauliche Aspekte, Bodenfruchtbarkeit usw. in Kenntnis zu setzen. Dies gilt sowohl für pflanzenbauliche oder bodenbezogene Vorteile als auch für ausbleibende Nachteile einer gewissen Bewirtschaftungsform. Feldversuche auf Flächen von Kooperationslandwirten haben aufgrund der räumlichen Nähe und der Bekanntheit unter Landwirten ein höheres Potenzial zur Wissensverbreitung als die auf entfernteren Flächen, wie solche der Versuchsanstalten der Landwirtschaftskammer.

8.2.2.2 Monatliche N_{min}-Beprobungen auf ausgewählten Flächen

Von überwiegend positiven Erfahrungen berichten Berater, auf deren Kooperationsflächen monatliche N_{min}-Beprobungen durchgeführt werden (typischerweise auf 5 bis 10 Flächen, für unterschiedliche Kulturen). Die monatliche Probe auf den drei Tiefenhorizonten ermögliche das genauere Nachvollziehen von Prozessen wie Verlagerung, Pflanzenaufnahme, Herbstmineralisation usw. bei unterschiedlichen Bearbeitungsgängen, womit sowohl Landwirt als auch Berater neue Erkenntnisse zur Stickstoffdynamik in den jeweiligen Böden für die jeweilige Kultur erreichten. Landwirte können aufgrund dieser Untersuchungen z. B. sehr genau nachvollziehen, welcher ihrer Bearbeitungsgänge zu Erhöhungen der N_{min}-Werte im Boden führten. Dieses Wissen ermöglicht es den Landwirten, langfristig geringere Herbst-N_{min}-Werte auf ihren Schlägen zu erreichen.

Es empfiehlt sich auch bei Einzug einer neuen Kultur in ein WSG eine oder mehrere Flächen mit dieser Kultur monatlich zu beproben, um Erfahrungswerte für diese Kultur zu sammeln. Auch Sortenversuche bei einer neuen Kultur sind aus Perspektive des Gewässerschutzes sinnvoll.

8.2.2.3 Breitflächige Förderung von Frühjahrs-N_{min}-Proben

Diese Maßnahme wird in vergleichsweise wenigen der untersuchten Kooperationen gefördert. Wenn eine Förderung stattfindet gilt die Förderung in der Regel für nur einige wenige Flächen pro Landwirt. Die untersuchten Kooperationen, die diese Maßnahme breitflächiger umsetzten, berichten von guten Ergebnissen. Sofern finanzierbar, kann die Anwendung von auf den jeweiligen Schlägen gemessenen N_{min}-Werten anstelle der N_{min}-Richtwerte der Landwirtschaftskammer für eine genauere und dadurch effizientere Düngung sorgen.

8.2.2.4 Breitflächige Förderung von Herbst-N_{min}-Proben

Wie die vorherige kann auch diese Maßnahme kostspielig sein. Allerdings führt die langfristige Anwendung zu bedeutenden Erkenntnisgewinnen bei Kooperationslandwirten im Hinblick auf die Auswirkungen ihrer Bearbeitungsgänge. Diese Erkenntnisgewinne können, in Kombination mit Beratung und ggf. weiterer Förderung, zu bedeutend geringeren Herbst-N_{min}-Werten führen.

8.2.3 Empfehlungen an die für die Kooperationsarbeit in NRW zuständigen Behörden

Die Stärken des dezentralen Kooperationsmodells in NRW, wie z. B. die hohe Flexibilität und die Möglichkeit, die Eigenheiten der regionalen Landwirtschaft zu berücksichtigen, wurden in diesem Bericht mehrfach hervorgehoben. Diese Aspekte gilt es aus Sicht der Gutachter beizubehalten, dabei aber auch das derzeitige System zu optimieren. Im Folgenden werden Empfehlungen für die zuständigen Behörden ausgesprochen.

8.2.3.1 Fachliche Begleitung der Trinkwasserkooperationen

Wie im Punkt 8.2.1 erwähnt, ist der Datenaustausch zwischen Wasserversorger und zuständiger Behörde darauf ausgerichtet, zu überprüfen:

- Ob die Aufwendungen der Kooperationen unter die nach WasEG geförderten Tätigkeiten fallen, die unter folgenden Posten gebucht werden können: (1) Kosten Fremdpersonal Wasserschutzberatung (nur LWK), (2) Kosten Eigenpersonal (z. B. beim Wasserversorgungsunternehmen, einem Ingenieurbüro usw.), (3) Ausgleichszahlungen, (4) Effizienzkontrollmaßnahmen, (5) Sonstiges.
- Ob der Empfänger Landwirt und Kooperationsmitglied ist und
- Ob die Aufwendungen dem Rohwasserschutz dienen.

Die Gutachter regen an, dass die Datenweitergabe zwischen den unterschiedlichen Akteuren (Landwirt, Berater, N_{min}-Probenehmer, Wasserversorger und Behörde) erweitert, formalisiert und strukturiert wird, mit Beibehaltung des landwirtschaftlichen Datenschutzes. Dabei kann auf die Erfahrungen in Niedersachsen (Stichwort „DIWA-Shuttle“) zurückgegriffen werden.

Die genauen Anforderungen für eine solche Datenweitergabe können aus Sicht der Gutachter nur in gemeinsamen Diskussionen zwischen den Akteuren in NRW entwickelt werden, z. B. im Rahmen eines Arbeitskreises. Folgend werden lediglich einige wenige, aus Sicht der Gutachter sinnvolle Eckpunkte für eine solche Weitergabe dargelegt.

- Die jährliche Berichterstattung der Kooperationen, die in der heutigen Form u. a. umgesetzte Gewässerschutz- und Effizienzkontrollmaßnahmen einer Kooperation darlegt, sollte so erweitert werden, dass eine fachliche Begleitung der Kooperationsarbeit seitens einer zuständigen Behörde möglich wird. Diese sollte keine zusätzliche Beratungsinstanz vor Ort bilden, sondern sich eher regionalen und überregionalen Aspekten (wie z. B. Auswertung von Messwerten) widmen. Solch eine fachliche Begleitung könnte auch die Herausgabe einer datengestützten, jährlichen Veröffentlichung zu den Erfolgen des Trinkwasserschutzes in NRW ermöglichen, analog z. B. zu den jährlichen SchALVO-Nitratberichten in Baden-Württemberg.
- Der mit einer solchen Berichterstattung einhergehende administrative Aufwand sollte für die Kooperationen auf ein Minimum begrenzt werden, insbesondere was den Aufwand für landwirtschaftliche Berater und Landwirte betrifft. An dieser Stelle scheint eine Arbeitsteilung zwischen Behörde, Wasserversorger und Beratungsinstanz sinnvoll. Nutzerfreundliche elektronische Datenbanken,

in welche die zuständige Behörde und der Wasserversorger die Stammdaten einpflegen und aktualisieren und die Berater nur die Ihnen vorbehaltenen Informationen eintragen, haben sich in Niedersachsen als eine für alle akzeptable Lösung bewährt.

- Die Datenerhebung sollte sowohl Rückschlüsse auf die gesamte Arbeit einer Kooperation (inkl. Beratung) als auch auf die Umsetzung und Erfolge einzelner Maßnahmen in einer Kooperation ermöglichen, ohne dabei den landwirtschaftlichen Datenschutz zu beeinträchtigen. Insbesondere soll es möglich sein, anhand der zu erhebenden Daten die Wirksamkeit von Flächenmaßnahmen zu belegen und die Entwicklungen von Messstellenwerten nachzuvollziehen.
- Zu den zu erhebenden Daten könnten folgende Daten zählen: Angaben zur Beratungstätigkeit, Daten zum Anbau (Vorfrucht, Hauptfrucht, ggf. Zweitfrucht), Daten zur Düngung, Daten zu betriebsbezogenen Maßnahmen (z. B. Unterstützung der Anschaffung von Geräten zur mechanischen Unkrautbekämpfung oder von emissionsarmer Technik), Daten zu flächenbezogenen Maßnahmen (mit Angaben der Flächen, z. B. Art der Zwischenfrucht, Vereinbarung zur Fruchtfolge, relevante Angaben zur Bodenbearbeitung) wie auch Effizienzkontrollmaßnahmen und ihre Ergebnisse (z. B. betriebsbezogene Daten zur Düngung, flächenbezogene Daten wie Herbst-N_{min}). Einige dieser Parameter werden schon heutzutage erhoben und an die zuständige Behörde weitergeleitet. Der genauere Umfang der Datenweitergabe und ihre Details müssten von den Akteuren auf Konsensbasis abgestimmt werden, auch mit Hinblick auf die aktuellen Entwicklungen im Düngerrecht und die damit verbundenen Änderungen der Dokumentationspflichten.
- Wenngleich eine aggregierte Datenweitergabe wertvolle Schlüsse zur Kooperationsarbeit und zur Wirkung der einzelnen Maßnahmen ermöglicht, sind aus Sicht einer langfristigen fachlichen Begleitung der Trinkwasserkooperationen disaggregierte landwirtschaftliche Daten (also für die einzelnen Flächen, in anonymisierter Form) sicherlich wünschenswert. Disaggregierte Daten, über einen relevanten Zeitraum erhoben, ermöglichen eine tiefergehende Analyse und eine genauere Rückverfolgung von Entwicklungen. Dabei kann auch bei disaggregierten Daten dem landwirtschaftlichen Datenschutz Rechnung getragen werden, z. B. indem die Daten an sich anonymisiert (einzelne Flächen können z. B. konstant bleibende laufende Nummern erhalten) und Angaben zur Flächengröße gerundet werden. Auch für diesen Punkt gibt es in Niedersachsen interessante Lösungsansätze, die zu Rate gezogen werden können.

Eine fachliche Begleitung dieser Art könnte auch für einige Kooperationen eine Rolle in der Empfehlung bzw. Entwicklung einzelner Maßnahmen zum vorsorgenden Trinkwasserschutz spielen. Die im Rahmen dieser Studie geführten Gespräche mit Wasserversorgern und landwirtschaftlichen Beratern zeigen, dass während größere Kooperationen Ressourcen in die Entwicklung neuer Kooperationsansätze und -maßnahmen investieren können und dies auch in der Regel tun, eine solche Entwicklung bei kleineren Wasserversorgern bzw. Kooperationen oft nicht stattfindet. In Kooperationen kleinerer Wasserversorger kann das Wasserversorgungsunternehmen eine eher passive Rolle einnehmen, die Weiterentwicklung des Förderkatalogs nimmt dann eher einen ad-hoc Charakter ein und ist nicht selten von der Eigeninitiative des Beraters abhängig: Als Ideengeber können weitere Gewässerschutzberater, Ingenieurbüros und ggf. die Kooperationslandwirte selber fungieren. Die mit dieser Begleitung vertraute Behörde könnte Unterstützung in der Entwicklung neuer Ansätze und Maßnahmen anbieten, z. B. aufgrund von Erfahrungen in Kooperationen mit ähnlichen Problemstellungen und landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

8.2.3.2 Erhöhung der Beratungsintensität

Der vielleicht wichtigste Faktor für einen erfolgreichen Trinkwasserschutz ist eine kontinuierliche und fachlich kompetente Betreuung des Landwirts durch den Wasserschutzberater (Schroeder et al. 2015, Goßler 2009, Hejnowicz et al. 2016). Das Aufbauen eines für die Beratung wichtigen Vertrauensverhältnisses zwischen Landwirt und Berater bedarf Zeit. Der Berater muss im Rahmen seiner weiteren Aufgaben die Zeit haben, Landwirte vor Ort zu besuchen, um ins Gespräch zu kommen. Die Erfahrungen aus der Studie zeigen, dass die Beratungsintensität in manchen Kooperationen erhöht werden kann. Einige der befragten Landwirte gaben auch auf offene Fragen Antworten in diesem Sinne (z. B.

„Mehr Personal“, *„Regelmäßige Vorort Termine mit Berater“*, vgl. Kapitel 7.3.4). Auch aus der Gesamtperspektive scheint die Anzahl der Trinkwasserschutzberater von rund 60 Beratern für die 11.600 Landwirte und Gärtner der 114 Kooperationen eher gering.[31]

Die langsame Herstellung eines Vertrauensverhältnisses zwischen Landwirt und Berater zeugt auch von der Bedeutung, die Fluktuation der Berater zu mindern (z. B. durch längerfristige Verträge). Stabile Beratungsverhältnisse sorgen dafür, dass das Vertrauensverhältnis zwischen Landwirt und Berater nicht immer wieder neu hergestellt werden muss.

8.2.3.3 Unterstützung der Kooperationsarbeit mithilfe weiterer finanzieller Ressourcen

Das dezentrale Modell in NRW ist auch dezentral in seiner Finanzierung: Wasserversorger können sich Ausgaben für den kooperativen Gewässerschutz bis zur Höhe der von ihnen selber entrichteten Wasserentnahmeentgelte rückerstatten lassen, es gibt keine Umverteilung unter den Kooperationen. Dieses Prinzip sorgt für klare Verhältnisse, vermeidet Umverteilungsdebatten und sollte folglich auch in Zukunft beibehalten werden.

Derzeit ist es allerdings, wie in Kapitel 8.1.3 dargelegt, mehr als fraglich, ob die Einhaltung des Grenzwertes von 50 mg/l Nitrat im Sickerwasser unter landwirtschaftlichen Flächen in Regionen mit hohen N-Bilanzüberschüssen langfristig gelingt. Insbesondere in Regionen mit einer hohen landwirtschaftlichen Intensität und Problemkulturen wie Gemüse und Kartoffeln ist die Einhaltung gefährdet.

Den Kooperationen in diesen Regionen könnten, ggf. auch vorübergehend, nach einem zu definierenden Verteilungsschlüssel weitere finanzielle Ressourcen für den Gewässerschutz zur Verfügung gestellt werden.

8.2.3.4 Erhebung von Herbst-N_{min}-Kontrastwerten zur Bewertung der Erfolge der Kooperationsarbeit

Der Nitratdienst der LWK NRW beprobt NRW-weit zahlreiche Flächen für die Erstellung der Frühjahrs-N_{min}-Richtwerte, darüber hinaus beprobt er ca. 90 Flächen im monatlichen Rhythmus. Von diesen ca. 90 Flächen befinden sich lediglich 30 außerhalb von Wasserschutzgebieten bzw. WRRL-Modellbetrieben. Somit sind für NRW kaum Informationen zur herbstlichen Stickstoffbelastung von Böden, die ohne Gewässerschutzmaßnahmen bewirtschaftet werden, vorhanden. Auf der anderen Seite werden jährlich mehrere Tausend Herbst-N_{min}-Werte für Kooperationsflächen erhoben. Im Herbst 2018 wurden allein in den Kooperationen der RAG Niederrhein 9.600 Herbst-N_{min}-Proben genommen.

Um eine Schätzung der Minderungswirkung der Kooperationen mittels Herbst-N_{min}-Werten durchzuführen, bedarf es allerdings Kontrastwerte für Flächen, auf denen eine ordnungsgemäße Landwirtschaft ohne Gewässerschutzmaßnahmen durchgeführt wird. Für diesen Zweck werden in Thüringen im Rahmen einer amtlichen Herbst-N_{min}-Kampagne ca. 200 N_{min}-Vergleichsflächen außerhalb von WSG beprobt, womit ein Vergleich von Flächen in und außerhalb von WSG möglich wird (s. Kapitel 3.3). Auch in Niedersachsen werden Flächen mit und ohne Gewässerschutzmaßnahmen verglichen, um die Wirkung dieser Maßnahmen schätzen zu können. Die Gutachter regen an, jährliche Herbst-N_{min}-Kampagnen für Flächen außerhalb von WSG durchzuführen. Auch einzelne Maßnahmen wie z. B. Änderungen von Fruchtfolgegliedern könnten mithilfe von „mit-ohne Vergleichen“ anhand von Herbst-N_{min}-Werten evaluiert werden.

8.2.3.5 Überprüfung der Möglichkeit einer EU-Kofinanzierung der Trinkwasserschutzberatung

Es sollte überprüft werden, unter welchen Bedingungen die Beratungstätigkeit in Trinkwasserschutzgebieten seitens der EU kofinanziert werden könnte. In Niedersachsen ist mithilfe der EU eine Kofinanzierung der Trinkwasserschutzberatung gelungen. Die somit potenziell freiwerdenden Mittel könnten in eine Erweiterung der Kooperationsarbeit investiert werden.

[31] Daten für 2017 von https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/wasserschutz/kooperationen/index.htm

8.2.4 Vergleich mit WRRL-Beratung und Agrarumweltmaßnahmen

Neben der landwirtschaftlichen Beratung in den im Rahmen dieser Studie exemplarisch untersuchten Kooperationsgebieten findet in NRW seit Inkrafttreten des ersten Bewirtschaftungsplanes (BWP) zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2009 auch die sog. „WRRL-Beratung“ der Landwirte statt. Der Bewirtschaftungsplan (aktuelle Version: MKULNV 2015[32]) enthält eine grundlegende Beschreibung des Maßnahmenprogramms. Für die praktische Anwendung in NRW wurden für alle Programmmaßnahmen "Maßnahmensteckbriefe" erarbeitet, die zusätzliche Informationen für Auswahl, Anwendung und Umsetzungskontrolle beinhalten.

Diese Steckbriefe basieren auf dem Maßnahmenkatalog des ersten Bewirtschaftungsplanes. Sie wurden um die LAWA-spezifischen Informationen ergänzt. Sie stellen oft nur eine allgemeine - programmatische - Zusammenfassung des Maßnahmenbedarfs dar. Für die praktische Umsetzung müssen sie deshalb mit konkreten Einzel- oder Vollzugsmaßnahmen unterlegt werden. Exemplarisch sei die „Programmmaßnahme 041 zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in das Grundwasser durch Auswaschung aus der Landwirtschaft“ genannt. Aufgeführt sind dort Maßnahmen zur Verminderung der Grundwasserbelastung mit Nährstoffen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, die über die gute fachliche Praxis hinausgehen, z. B. durch Zwischenfruchtanbau und Untersaatenanbau (inkl. Verringerung bzw. Änderung des Einsatzes von Düngemitteln, Umstellung auf ökologischen Landbau). Im zweiten BWP wurde die Beratung um den Schutz der Oberflächengewässer vor zu hohen Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträgen erweitert.

Der räumliche Schwerpunkt der WRRL-Beratung für den Bereich Grundwasser in NRW liegt in den Gebieten, in denen ein besonderer Handlungsbedarf bezüglich einer Verringerung von Stickstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträgen zum Schutz des Grundwassers gegeben ist. Das sind die Grundwasserkörper, in denen eine Zielverfehlung aufgrund landwirtschaftlicher Einträge bezüglich Nitrat, Ammonium oder PSM oder ein maßnahmenrelevanter steigender Schadstofftrend aktuell gegeben ist. Rund 40 Prozent der Grundwasserkörper in NRW sind wegen hoher Nitratbelastungen derzeit nicht in einem guten chemischen Zustand (MKULNV 2015). Diese Belastungen sind für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas vorrangig auf landwirtschaftliche und gartenbauliche Aktivitäten zurückzuführen MKULNV (2015). Hinzu kommen Eutrophierungseffekte oberirdischer Gewässer (inkl. Talsperren), die zumindest in Teilen auf Auswaschung, Dränageeinträge und Erosion von landwirtschaftlich oder gartenbaulich genutzten Flächen zurückzuführen sind. Zum Dritten sind Landwirtschaft und Gartenbau Mitverursacher der zeitweise bzw. lokal begrenzt auftretenden Belastungen von oberirdischen Gewässern und Grundwasser mit Pflanzenschutzmitteln.

Zur Minderung dieser Belastungen und zur Erreichung der im Bewirtschaftungsplan festgelegten Ziele wurde ein Maßnahmenprogramm für die Beratungskulisse Grundwasser behördenverbindlich festgelegt. Zur Lenkung der Beraterkapazitäten innerhalb der Grundwasserkörper, in denen die Programmmaßnahme 041 verbindlich festgelegt ist, erfolgte eine Priorisierung der Beratungsgebiete (s. Abbildung 239) auf Grundlage vorhandener Daten (Monitoringergebnisse, Standortkriterien bezüglich des Auswaschungsrisikos, sowie Modellierungsergebnisse bezüglich der modellierten Sickerwasserkonzentration bzw. des erforderlichen N-Reduzierungsbedarfs).

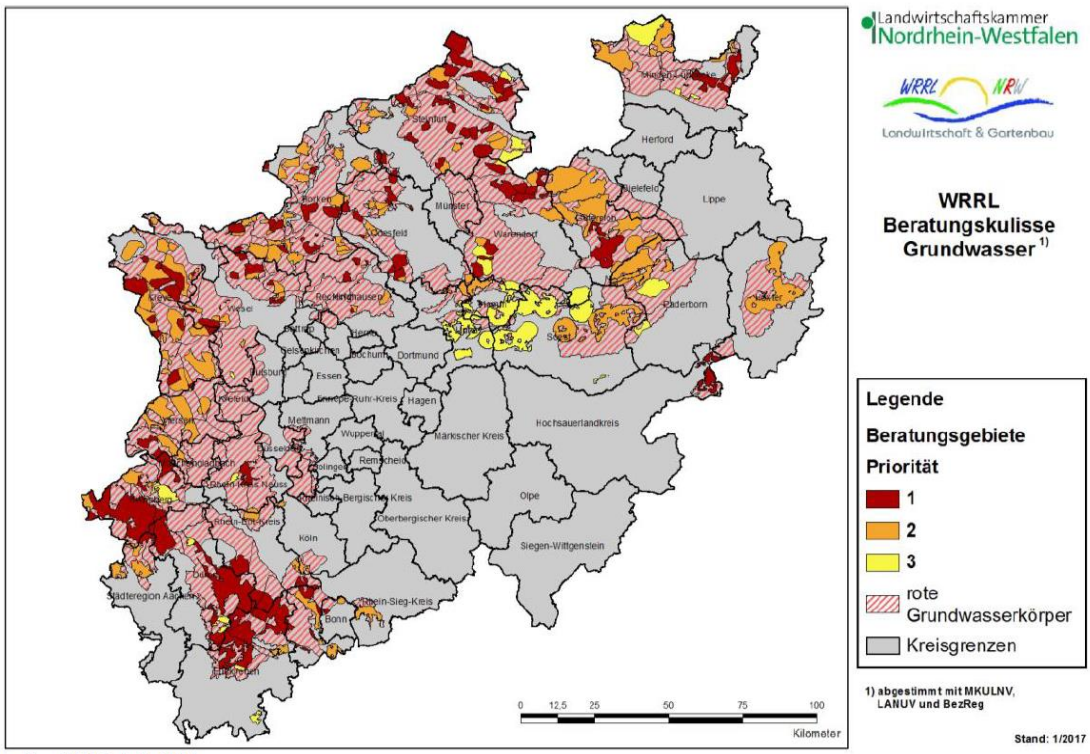
Grundsätzlich erfolgt in den sog. „roten“ Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand wegen Nitrat eine Grundberatung, während sich die sog. Intensivberatung in den übrigen Gebieten folgendermaßen gliedert:

- 1 – sehr hohe,
- 2 – hohe und
- 3 – mäßige Priorität bei der Beratung, Maßnahmenakquise und –umsetzung

Gebiete, innerhalb derer bereits eine Trinkwasserschutzkooperation existiert, wurden von diesen Flächen ausgenommen. In einer aktuellen Studie (AFC 2018) wurde die landwirtschaftliche WRRL-Gewässerschutzberatung evaluiert. Die Autoren betonen dabei, dass die Berater der WRRL-Beratung

[32] https://www.flussgebiete.nrw.de/programmmassnahmen-die-grundlage-des-massnahmenprogramms-5780

gegenwärtig nur wenige „harte“ Anreize zur Verfügung stehen hätten, die sie als Angebot formulieren könnten. Anders als in den trinkwasserbezogenen Wasserschutzgebietskooperationen, die substantielle finanzielle Kompensationen bei der Erreichung konkreter Zielwerte gewährten, sei das Angebot der WRRL-Gewässerschutzberatung auf die reine Vermittlung weniger Einzelmaßnahmen (z. B. Zwischenfruchtförderung) beschränkt.



Quelle: LWK, LANUV

Abbildung 239: Beratungskulisse Grundwasser nach Bewirtschaftungsplan 2016 bis 2021 mit priorisierten Intensivberatungsgebieten

Orientierend wurden in der vorliegenden Studie Nitratminderungsraten von rund -1 mg/l pro Jahr für das Beratungsgebiet für die Trinkwasserkooperation Hartefeld ermittelt (s. Kapitel 8.1.2.4). Dieser Wert sollte zwar unabhängig bestätigt werden, ist aber potenziell auf die Intensivberatungsgebiete, vor allem mit der Priorität 1, übertragbar. Die Auswirkung der WRRL-Beratung auf das Grundwasser konnte hingegen bisher nicht quantifiziert werden (MKULNV 2015). Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese eine wesentlich geringere Minderungswirkung aufweist, da keine gezielte einzelbetriebliche Beratung erfolgt und die Betreuungsintensität mit 45 Beratern (AFC 2018) gering ist.

Für den Vergleich zwischen Trinkwasserschutzkooperationen und WRRL-Beratung ist neben der Analyse der Wirksamkeit zunächst ein Vergleich der bisherigen Flächenumfänge von Interesse, zudem ist der monetäre Aufwand von Belang. Die WRRL-Beratungskulisse umfasst insgesamt 13.915 km² in 58 GWK im schlechten chemischen Zustand aufgrund der Nitratkonzentration (LANUV 2015). Darin befindet sich eine gemeinsame Flächenkulisse (Kooperations- und Wasserschutzgebiet) von 2.130 km², das entspricht einem Flächenanteil von etwa 15%. Abbildung 240 zeigt die Verteilung der dem zugrundeliegenden Flächenanteile pro Grundwasserkörper, sie umfasst eine große Bandbreite bis hin zu fast 70%.

Angesichts der Tatsache, dass das flächenmäßige Verhältnis von Trinkwasserschutzkooperationen zu WRRL-Maßnahmenkulisse innerhalb der wegen Nitrat in den schlechten Zustand versetzten Grundwasserkörpern nur bei den o.g. 15% der Fläche dieser Grundwasserkörper liegt, besteht bei der Übertragung der effizienten und für den Grundwasserschutz erfolgreichen Kooperationsmaßnahmen auf die Gesamtfläche der Grundwasserkörper ein hohes Potential hinsichtlich einer Erweiterung von Maßnahmen über die Trinkwasserschutzgebiete hinaus. Eine Intensivierung der WRRL-Beratung bietet damit prinzipiell eine aussichtsreiche Möglichkeit zur Reduzierung der Nitratkonzentrationen in

den „roten“ GWK. Durch die Neuausweisung der Intensivberatungsgebiete mit der Priorität 1 geschieht dies bereits praktisch, jedoch sind die entsprechenden Flächenanteile weiterhin gering (s. Abbildung 239). Obwohl mit dieser Umstrukturierung der Beratungskulisse der Personalbedarf bereits umfassend erweitert werden muss, sollte in weiteren Schritten die Umsetzbarkeit einer weitergehenden Ausweitung der Intensivberatungsgebiete geprüft werden.

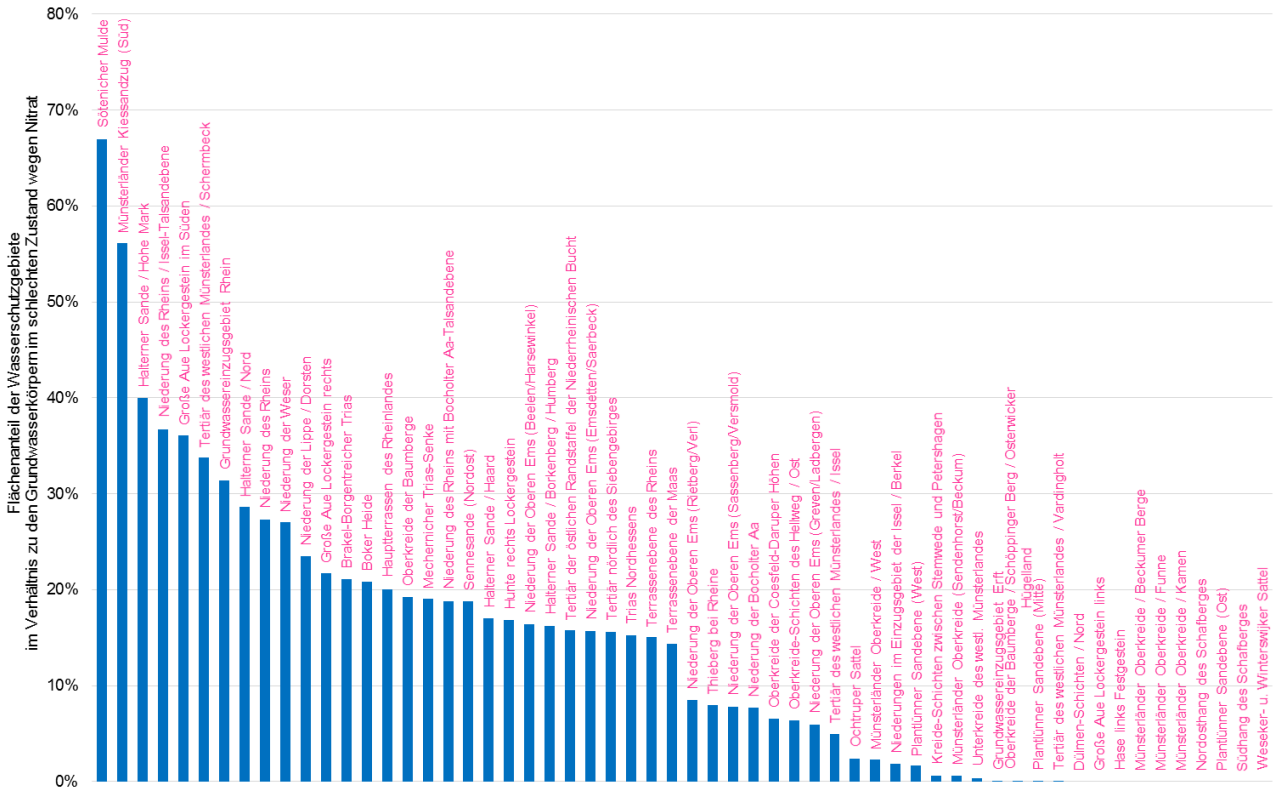


Abbildung 240: Flächenanteile von Kooperationsgebieten in Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand wegen Nitrat

Deutliche Erfolge der Reduzierung der Nitratbelastung des Grund- und Rohwassers wurden im Rahmen der vorliegenden Studie vor allem in Gebieten konstatiert, in denen die ausgezahlten Flächenprämien besonders hoch waren (z. B. im WSG Helenenbusch mit Prämien von 300 €/ha/a und mehr). Für die flächenhafte Umsetzung von Prämienmodellen wäre das Gesamtbudget jedoch extrem hoch. Es würde sich also eine überproportionale Kostenübertragung bei wirksamer Verbesserung der Gewässerqualität ergeben. Die flächenhafte Ausweisung von Prämiengebieten mit entsprechenden Prämienhöhen im Ausmaß der Ausweisung von Intensivberatungsgebieten wird damit nicht als zielführend erachtet.

Im Folgenden erfolgt eine Darstellung der in NRW geförderten Agrarumweltmaßnahmen, um auch das Potenzial für eine Aufnahme der Erfahrungen der Trinkwasserschutzkooperationen zu erörtern. Die Agrarumweltmaßnahmen (AUM) in NRW verfolgen gleichzeitig mehrere Umweltziele, unter denen der Gewässerschutz prominent vertreten ist. Zusätzlich zum Vertragsnaturschutz gibt es in NRW vier AUM, zu deren Zielen der Gewässerschutz gehört. Die Neugestaltung dieser Maßnahmen ab 2021 bietet eine Möglichkeit, um einige weitere, für den Grundwasserschutz relevante, Aspekte aufzunehmen.

Die Maßnahme „Vielfältige Kulturen im Ackerbau“ hat als Ziel, die Fruchtfolgen aufzulockern, um unter anderem die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und die Biodiversität zu erhöhen. Zu ihren Bedingungen zählen:

- Anbau von mindestens fünf verschiedenen Hauptfruchtarten auf der Ackerfläche;
- Anschließender Anbau einer Zwischenfrucht;

- Hauptfruchtarten auf mindestens 10% und maximal 30% der Fläche;
- Getreideanteil von maximal 66% der Fläche;
- Anbau von Gemüse auf maximal 30% der Fläche.

Mehrere dieser Bestimmungen sind dem Gewässerschutz dienlich. Bei der Überarbeitung dieser Maßnahme wäre eine mögliche Erweiterung der Kriterien im Sinne des Gewässerschutzes zu prüfen. Es könnte z. B. überprüft werden, ob bei einer Reduktion des Gemüseanteils die Attraktivität der Maßnahme erhalten bleibt. Besonders interessant wäre aus Sicht des Gewässerschutzes die Förderung des Anbaus von Sommergetreide (mit vorheriger Zwischenfrucht) anstelle von Wintergetreide. Für solch eine Förderung könnte z. B. überprüft werden, ob durch eine Anpassung anderer Kriterien (wie z. B. des maximalen Getreideanteils) bei Anbau von Sommergetreide diese Maßnahme eine Lenkungswirkung entfalten könnte. Allerdings erscheint die Förderhöhe für diese Maßnahme (65 €/ha) ggf. zu gering, um eine Wirkung im angestrebten Sinne zu entfalten.

Die Zwischenfruchtförderung könnte aufgrund der derzeitigen Novellierung der Düngeverordnung vor grundlegenden Veränderungen stehen. Es müsste überprüft werden, inwiefern die bisherige Förderung mit der Berücksichtigung des Handlungsbedarfs nach WRRL zielführend war. Eine aus Sicht des Gewässerschutzes interessante Möglichkeit wäre die Förderung im Rahmen von AUM von einer kurzen Zwischenfrucht nach Wintergetreide / Winterraps / Frühkartoffeln und vor Wintergetreide. Die Erfahrungen in Trinkwasserkooperationen in NRW mit „60-Tage“- bzw. Sommerzwischenfrüchten, besonders in Hinblick auf akzeptanzfördernde Elemente wie auch auf Umsetzungshemmnisse, könnten gebündelt und für eine solche Maßnahmengestaltung nutzbar gemacht werden.

Weitere für den Gewässerschutz relevante AUM sind die Errichtung von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen sowie die Anlage von Blühstreifen. Auch der Vertragsnaturschutz enthält zahlreiche, aus Gewässerschutzperspektive relevante Maßnahmen wie die extensive Nutzung von Äckern und die Umwandlung von Acker in Grünland. Für diese Maßnahmen haben die Gutachter keine Anpassungsvorschläge.

Die in dieser Studie durchgeführte Akzeptanzanalyse zeigt, dass in Bezug auf die Kooperationsarbeit für die Mehrzahl der Landwirte die Beibehaltung der betrieblichen Anpassungsfähigkeit von grundsätzlicherer Bedeutung ist als die Planungssicherheit. An dieser Stelle könnte eine Erhöhung der zeitlichen und administrativen Flexibilität der AUM einen bedeutenden Beitrag für deren Akzeptanz leisten. In den Besuchen vor Ort wurde oftmals betont, dass sowohl Gestaltung als auch praktische Umsetzung der AUM zu unflexibel gehandhabt werden, was die Landwirte von einer Teilnahme abhält. Besonders bei der Kontrolle sollte es mehr Verständnis für praktische, den Betriebsablauf beeinflussende Faktoren geben. Bekannt ist, dass sich negative Erfahrungen aus anderen Bereichen, z. B. bei Greening-Kontrollen, oftmals hemmend auf die Akzeptanz von freiwilligen Programmen auswirken (vgl. Joormann und Schmidt, 2017). Ungerechtfertigt empfundene Sanktionen (z. B. der fehlende Toleranzbereich bei Abmessungen) und hohe Auflagen würden sich daher auf die Akzeptanz anderer Programme negativ auswirken.

8.2.5 Fortschreibung 12-Punkte-Programm

Das sog. „12-Punkte-Programm in Nordrhein-Westfalen“ mit Stand vom 09. Juni 1989 (NRW Landesregierung et al. 1989) beinhaltet die Grundsätze der Kooperationen zwischen Wasser- und Landwirtschaft in NRW und ist Grundlage für die im Jahr 1991 geschlossene Rahmenvereinbarung zwischen der BDEW-Landesgruppe und der Landwirtschaftskammer NRW (s. Kap. 8.2.6). Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen können zunächst hinsichtlich des 12-Punkte-Programms selektiv folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Die Beibehaltung des unter 3) genannten Punktes der Regionalen Arbeitsgemeinschaften (RAG), die bis heute in dieser Form bestehen, wird nicht für sinnvoll erachtet, da die gebietsspezifischen, land- und wasserwirtschaftlichen sowie hydrogeologischen Kontraste auch innerhalb einer RAG größer als zwischen den RAG sind. Eine Überprüfung und ggf. Neuausweisung der im 12-Punkte-Programm genannten Regionen wird empfohlen. Denkbar wäre auch die Auflösung der RAG und

ein Ersatz durch Vernetzungstreffen verschiedener landesweiter Fachgruppen (z. B. Gemüsebau, Mais etc.), die sich auf den Austausch ihrer jeweiligen landwirtschaftlichen Praxis, der Kooperationserfolge und -gestaltungen sowie ihrer spezifischen Problemstellungen und möglicher Lösungswege fokussieren. Dies erscheint vor allem vor dem Hintergrund der im 12-Punkte-Programm genannten Aufgaben der RAG, z. B. dem Unterpunkt *„Feststellung von Handlungsbedarf und das Entwickeln von Strategien zur Sicherung der Trinkwasserversorgung“*, als sinnvoll. Die Einbindung der relevanten Akteure in die RAG oder mögliche Fachgruppen, d. h. *„Wasserversorgungsunternehmen, Landwirtschaftsverbände, Gartenbauverbände, Landwirtschaftskammern“* (inkl. Berater) und *„Untere Wasserbehörden (ggf. auch Regierungspräsident)“* sind unabdingbar. Im Rahmen des Informationsaustauschs und einer fachlichen Unterstützung der Unteren Wasserbehörden ist außerdem die Einbindung des LANUV sinnvoll.

- Der unter 6) genannte Punkt der *„Vergabe von Forschungsaufträgen in Verzahnung mit Fragestellungen der regionalen Arbeitsgemeinschaften“* zur *„Klärung von Wirkungszusammenhängen zwischen Grundwasserbelastungen, Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft/Gartenbau“* ist auch heute noch aktuell. Bereits vorhandene (Consulaqua et al. 2018) bzw. zu erwartende Ergebnisse aktuell laufender Projekte (*„GROWA+ NRW 2021“*), insbesondere im Hinblick auf zeitbezogene Verzögerungen der Wirkungen von Maßnahmen aufgrund langer Transportwege des Sickerwassers in der ungesättigten Zone und im Grundwasser, können – unter Berücksichtigung der raumbezogenen Skalierung der dort genutzten Eingangsdaten – verwendet werden.
- Bei den unter 8) genannten Maßnahmen erscheint ein Abgleich mit dem in der aktuellen bzw. der geplanten Novellierung der Düngeverordnung (DüV) des Bundes genannten Maßnahmenkatalog und auch den in der aktuellen Landes-DüV vom 28.02.2019 bzw. derer geplanter Novellierung daraus selektierten drei Maßnahmen (Verpflichtung zur Nährstoffanalytik, umgehende Einarbeitung des Wirtschaftsdüngers sowie Verbot der Aufbringung des Düngers von Oktober bis Januar) empfehlenswert. Diese drei Maßnahmen lassen – jede für sich – eine Verbesserung der Gewässerqualität erwarten, wodurch eine erhebliche Verbesserung im Vergleich zu den Maßnahmen des 12-Punkte-Programms von 1989 erwartet werden kann. Die aktuellen Bestimmungen (DüV 2017) und die ggf. zusätzlich noch hinzukommenden Anforderungen mit der (geplanten) nochmaligen Novellierung der DüV lassen zukünftig eine erhebliche Senkung der Stickstoffimmissionen im Grundwasser innerhalb der sog. „roten Gebiete“ nach § 13 (2) DüV erwarten. Dadurch ergibt sich eine deutliche Veränderung bezüglich dessen, was als „gute fachliche Praxis“ zu verstehen ist und dessen, was darüber hinaus für die Zwecke des Trinkwasserschutzes innerhalb von WSG notwendig ist.
- Punkt 9) regelt Ausgleichszahlungen nach dem Landeswassergesetz. Nach dem seit 2004 geltenden Wasserentnahmeentgeltgesetz des Landes NRW können Aufwendungen für Gewässer- bzw. Grundwasserschutzmaßnahmen auf Grundlage von Kooperationsvereinbarungen nach einem festen Satz verrechnet werden. Derzeit liegt der Entgeltsatz für die Entnahme von Wasser zu Trink- und Brauchwasserzwecken fest bei 5 Cent/m^3. Für die Berechnung des Ausgleichs können durch die WVU und der Land-/Forstwirtschaft und Gartenbau Sachverständige einbezogen werden. Ein an die natürlichen und technologischen Standortbedingungen oder auch den bisher erreichten Erfolg der Kooperationsmaßnahmen differenziert angepasster Entgeltsatz erscheint angesichts der großen Heterogenität der Standortverhältnisse in NRW als sinnvoll und empfehlenswert.

8.2.6 Fortschreibung Kooperations-Rahmenvereinbarung

Am 14.11.1991 wurde die Rahmenvereinbarung zwischen der BDEW-Landesgruppe und der Landwirtschaftskammer NRW zu den „Kooperationen zwischen Trinkwasserversorgung sowie Landwirtschaft und Gartenbau“ auf Grundlage des 12-Punkte-Programms (NRW Landesregierung et al. 1989) geschlossen. Im Juli 2012 erfolgte eine zweite Novelle (BDEW & LWK NRW, 2012), auf deren Aussagen sich nachfolgende Analyse bezieht. Aktuell ist eine weitere Novelle geplant, jedoch noch nicht abgeschlossen. Sinnvoll wäre in diesem Zusammenhang die Aufnahme der Landesregierung als gleichwertiger Partner der Vereinbarung, so wie bereits beim 12-Punkte-Programm von 1989.

Von den in der Rahmenvereinbarung aufgeführten Maßnahmen wird insbesondere die Notwendigkeit der unter Punkt 2) *„Voraussetzungen“* genannten *„gewässerrelevante Stoffströme zu erfassen, Verluste und deren Ursachen zu ermitteln sowie Möglichkeiten zur Vermeidung festzustellen*“ als sehr sinnvoll erachtet. Dies ist ein Beispiel dafür, dass die Rahmenvereinbarung aufgrund der weitreichenden Veränderungen der düngerechtlichen Anforderungen notwendigerweise aktualisiert werden muss. Die o. g. Forderung wird durch die Regelungen der neuen Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) grundsätzlich abgedeckt, und es könnte allenfalls analysiert werden, ob die Anforderungen des Trinkwasserschutzes dadurch hinreichend erfüllt werden und wenn nein, welche ergänzenden Bestimmungen innerhalb von Trinkwasserkooperationsgebieten dienlich wären.

Die ebenfalls genannte Berücksichtigung standortbezogener (Boden, Witterung) Besonderheiten der Bewirtschaftung erhält angesichts der oft sehr langen, bis zu Jahrzehnte dauernden Gesamtverweilzeiten des Wassers im Untergrund auf dem Weg bis zum Trinkwasserbrunnen eine eigenständige, in der Praxis der Kooperationstätigkeit jedoch oft unzureichend bekannte Bedeutung. Nicht genug betont werden kann schließlich die Bedeutung der Analyse und Wertung land- und wasserwirtschaftlicher Daten sowie die Kommunikation daraus resultierender Erkenntnisse an die Stakeholder zur Förderung der Akzeptanz. Zuletzt sei auf die Bedeutung der in der Rahmenvereinbarung aufgeführten Führung von Schlagkarteien verwiesen, welche die für die Wirkungsanalyse notwendigen Daten in der gebotenen räumlichen und zeitlichen Auflösung enthalten. Auch dies ist eine Anforderung, welche durch die neue Düngeverordnung zur Selbstverständlichkeit wird, die von allen Betrieben auszufüllen ist. In diesem Kontext wäre nunmehr zu prüfen, ob man innerhalb der Kooperationsgebiete verlangen könnte, dass diese Schlagkarteien verbindlich und digital vorzulegen sind.

Grundsätzlich wird unbedingt eine fachliche Fortführung des 12-Punkte-Programms und der Rahmenvereinbarung empfohlen, um eine landesweit einheitliche Vorgehensweise bei der Fortführung bzw. Etablierung neuer Kooperationsaktivitäten bereitstellen zu können. Eine verbesserte Transparenz der umgesetzten Maßnahmen und der Kontrollergebnisse ist dabei wünschenswert. Vielleicht könnten moderne Datenverwaltungs- und Modellierungsmöglichkeiten hier wegweisend sein, die es dem Landwirt ermöglichen, schlagbezogene Optimierungen in der Düngepraxis (ebenso bei der Anwendung von PSM) hinsichtlich der Düngeeffizienz und des Gewässerschutzes so durchzuführen, dass die Einhaltung der Gewässer-/Grundwasserschutzanforderungen gewährleistet werden kann. Hält sich der Landwirt an entsprechende schlagbezogene Modellberechnungen und kann dies aufgrund einer digitalen Dokumentation nachweisen, könnten auch neu entwickelte Prämienmodelle (z. B. unter Nutzung sog. „block chain-Modelle“) daran anknüpfen. Auch dafür wären weitere FuE-Projekte mit pilothaften Anwendungen innerhalb vorhandener Gewässerschutzkooperationen nützlich.

Im vorangegangenen Kapitel zur Fortschreibung des 12-Punkte-Programms wurde das Konzept der RAG kritisch bewertet. Als grundsätzliche Aufgaben der RAG sind *„regionale Abstimmungsgespräche als Voraussetzung für kooperatives Handeln“*, ein *„Informationsaustausch“* zwischen WVU und Landwirtschaft (Rohwasserdaten, Art des Anbaus und Einsatz von Stoffen) sowie die *„Feststellung von Handlungsbedarf und das Entwickeln von Strategien zur Sicherung der Trinkwasserversorgung“* genannt (NRW Landesregierung et al. 1989). Obwohl die RAG aktuell noch bestehen, finden sie in der Rahmenvereinbarung keine explizite Erwähnung. Wünschenswert wäre daher in der nächsten Novellierung der Rahmenvereinbarung eine Konkretisierung der Funktion und ggf. der Pflichten der RAG (oder ggf. der nachfolgenden Arbeitsgemeinschaften bei Auflösung der RAG).

9 Literatur

9.1 Veröffentlichungen (inklusive Gesetzestexte und online abrufbare Dokumente)

ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung KA5. Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Auflage 5, Hannover.

AFC (2018): Evaluation und Optimierung der landwirtschaftlichen Gewässerschutzberatung zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie in Nordrhein-Westfalen.- Gutachten der AFC Public Services GmbH, Bonn, Dezember 2018 (online verfügbar auf www.flussgebiete.nrw.de).

Appelo, C. A. J & D. Postma (1996): Geochemistry, groundwater and pollution, Balkema-Verlag, Rotterdam, 536 S.

Bach, M., Klement, L., Häußermann U. (2016): Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung von Nitrateinträgen in die Gewässer auf Basis regionalisierter Stickstoff-Überschüsse. Teil I: Beitrag zur Entwicklung einer Ressortübergreifenden Stickstoffstrategie (Zwischenbericht). Reihe Texte (55/2016), Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bechtel, A. (2008): Abschätzung regionaler Nitrateinträge in das Grundwasser unter Verwendung von Nmin-Daten Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-INGENIEURS von der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe genehmigte Dissertation, 20.06.2008, Karlsruhe.

BMEL (2015): Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung.- Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.

BMUNB & BMEL (2017): Nitratbericht 2016: Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft, Stand Januar 2017, Bonn.

Brauer, F., Bethmann, D., Kaupe, M. & S. Schiffmann (2015): Risikomanagement für ein Kölner Wasserwerk.- In: Energie und Wasserpraxis, Heft 6/205, Hrsg.: DVGW.

Burs, D., Bruckmann, J. & T. R. Rüde (2016): Developing a structural and conceptual model of a tectonically limited karst aquifer: a hydrogeological study oft he Hastenrather Graben near Aachen, Germany.- Environ Earth Sci, 75:1253, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/s12665-016-6039-x

Buttlar, C. & M. Willms (2016): Bewertung des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie.- In: Berichte über Landwirtschaft, Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Band 94, Ausgabe 2.

BVL (2009): Berichte zu Pflanzenschutzmitteln 2009, BVL-Reporte, Band 5, Heft 1, Hrsg.: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Braunschweig.

Consulaqua, IWW Zentrum Wasser & FZ Jüich (2018): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Ermittlung von Verweilzeiten und Denitrifikation in der ungesättigten und gesättigten Zone: Ermittlung von Verweil- und Fließzeiten, Abschlussbericht. Länderfinanzierungsprojekt Wasser-Boden-Abfall 2016, 2017: G 1.16, G 1.17, Consulaqua Hamburg, IWW Zentrum Wasser und Forschungszentrum Jülich.

Cesarz, R., Hölscher, T. & K. Müller-Sämann (2006): Modellierung von Bodenerosion / Oberflächenabfluss in den Kleineinzugsgebieten Schlossberg-Maiertal der Gemarkung Friesenheim und in Efringen-Kirchen im Landkreis Lörrach mit dem Computermodell Erosion-3D.- ANNA – Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften im Auftrag des Landes Baden-Württemberg Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim

Conrad, J. (1992): Nitratpolitik im internationalen Vergleich. ISBN 3-89404-331-8, Edition Sigma, Berlin

Cremer, N. (2015): Nitrat im Grundwasser – Eintrag, Verhalten und Entwicklungstrends.- Energie / Wasser-Praxis, 5 / 2015, S. 32 – 39, Hrsg: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

Datenblatt Nicogan (2017): Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) Anhang II.- veröffentlicht am 13.09.2017, http://www.raiffeisen.com/php/agrar_sdb/detail/6183

Deimer, Cornelia (2005): Honorierungsansätze für Umweltleistungen in der Landwirtschaft. Genese, Trends und Bewertung. Dissertation. http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/dissts/Halle/Deimer2005.pdf

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2017): DWD Climate Data Center (CDC), Historische stündliche RADOLAN-Raster der Niederschlagshöhe (GIS-lesbar), Version V001, Stand: 29.05.2017.

DIN 19732 (1997): Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotenzials von nichtsorbierbaren Stoffen. Beuth-Verlag.

DüV (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung), Bgbl. Teil I, Nr. 32 vom 1.6.2017.

DVGW & DWA (2019): Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung; Arbeitsblatt W 104 (DVGW) und A 912 (DWA), Juni 2019, 46 Seiten, ISBN 978-3-88721-838-6, Hennef

DVGW (2003): Technische Regel Arbeitsblatt W 108, Messnetze zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Wassergewinnungsgebieten, Hrsg.: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V..

DVGW (2006): Technische Regel Arbeitsblatt W 101, Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser, Hrsg.: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn

DVGW (2013): Konsequenzen nachlassenden Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern - Abschlussbericht zum DVGW-Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Projekt W1/06/08. Koordinator: A. Bergmann, IWW, 179 S, Bonn.

DVGW (2016): Risikobasiertes Grundwassermonitoring für Wasserschutzgebiete, Abschlussbericht.- Hrsg.: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., DVGW-Förderkennzeichen W 01-01-10-F, Hennef.

DVGW (2017): Nitratbelastung des Grundwassers – Hintergründe, Forderungen und Lösungen der Wasserwirtschaft.- DVGW kompakt, Hrsg.: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V, September 2017.

DVGW, BDEW & VKU (2019): Bericht zur Nitratbelastung der Trinkwasserressourcen in Deutschland (Beprobungsjahr 2016).- Hrsg.: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., BDEW Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft und VKU Verband kommunaler Unternehmen e. V., Berlin & Bonn (online verfügbar).

DWA (2013): Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs; DWA-M 911, 36 S., ISBN 978-3-944328-13-3, Hennef:

DWA (2015): Stickstoffumsatz im Grundwasser. DWA-Themenband T-02/2015. Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.

DWA-A 912 (2019): Arbeitsblatt DWA-A 912 – Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschonenden Landbewirtschaftung. DWA-Regelwerk, Hennef.

DWA-A 920-1 (2016): DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt 920-1, Bodenfunktionsansprache Teil 1: Ableitung von Kenn werten des Bodenwasserhaushalts. Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.

DWA-M 911 (2013): Merkblatt DWA-M 911 – Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs. DWA-Regelwerk, Hennef.

EC European Commission (2002): Review Report for the active substance Foramsulfuron. Health & Consumer Protection Directorate General. Directorate E – Food Safety: plant health and welfare, internation questions.

EFSA European Food Safety Authority (2016): Conclusion on the peer Review of the pesticide risk assessment of the active substance foramsulfuron. EFSA Journal 2016; 14(3):4421, 119 pp.

EG-Nitratrichtlinie (1991): Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, Amtsblatt Nr. L 375 vom 31/12/1991; S. 1 - 8

Eschenbach, W. (2014): Determination of the denitrification capacity of unconsolidated rock aquifers using 15N tracer experiments at groundwater monitoring wells - development of a new method to assess actual and future denitrification in aquifers.- Diss. Universität Göttingen (online-Publikation).

Europäische Kommission (2008): “Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment.” Guidance Document No. 18, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Technical Report - 2009 – 026. ISBN 978-92-79-11374-1

Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi: 10.1029/2005RG000183.

Finck, M., Übelhör, W. (2010): Ergebnisse aus 20 Jahren Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO). Landinfo (5), S. 13-19.

Fischer, R., Hänel, R. & J. Siebers (1999): Rückstandsanalytik neuer Pflanzenschutzmittelwirkstoffe.- Nachrichtenbl Deut Pflanzenschutzd., 51 (11), S. 285-292, Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Flaig, H.; Lehn, H.; Pfennig, U.; Akkan, Z.; Elsner, D.; Waclawski, N. (2002): Umsetzungsdefizite bei der Reduzierung der Nitratbelastung des Grundwassers.- Materialienband der Akademie für Technikfolgenabschätzung Baden-Württemberg, 317 S.

Fohrmann, R., Odenkirchen, G. & M. Hannen (2007): Entwicklung eines vereinheitlichten Verfahrens zur Erfassung und Bewertung der Auswirkungen von Vereinbarungen zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft auf die Gewässerqualität in Nordrhein-Westfalen.- Kurzfassung des Vortrages zur Essener Tagung am 14.-16.3.2007 in Essen. In: Pinnekamp, J. (Hrsgb): Gewässerschutz – Wasser – Abwasser; Tagungsband zur 40. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 14.3. – 6.3.2007; 207, .35/1 – 35/11; Aachen, 2007

Fuchs, S., Ziesche, M. & P. Nillert (2017): Empirische Verfahren zur Ableitung verschiedener Porositätsarten aus Durchlässigkeitsbeiwert und Ungleichkörnigkeitszahl – ein Überblick.- Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 22:83–101, DOI 10.1007/s00767-017-0355-2.

FZ Jülich (2013): Aktualisierung der regional differenzierten Quantifizierung der N-Einträge in das Grundwasser Nordrhein-Westfalens.- Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG 3: Agrosphäre), Endbericht 14. November 2014 an das LANUV NRW.

Gabriel, B., Ziegler, G., Schultze, M., Kunzmann, R., Bufe, J., Fischer, H., Pohl, A., Schwarze, R. & N. Bühnemann (1989): Das Grundwasser – Einfluss der Landwirtschaftlichen Produktion.-Hrsg.: Wasserwirtschaftsdirektion Saale-Werra, Forschungsbereich Erfurt.

GD NRW (2008): Leitfaden zur Schutzfunktionsbewertung der Grundwasserüberdeckung, H. WILDER, T. SCHÖBEL, Stand 8. Dezember 2008, Geologischer Dienst NRW, online verfügbar unter: https://www.gd.nrw.de.

GD NRW (2019): Informationssystem Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100.000, Geologischer Dienst NRW, online verfügbar unter: https://www.gd.nrw.de/pr_shop_informationssysteme_hk100d.htm (letzter Zugriff am 17.09.2019).

Gelsenwasser AG (2016): https://www.gelsenwasser.de/fileadmin/gelsenwasser_de/content/service/infomaterial/wasserwerksprospekt_haltern.pdf (letzter Zugriff am 17.09.2019).

Geupel, M. (2009): Stickstoff in der Landwirtschaft – Entwicklungen des Umweltrechts und Handlungsbedarf. VDLUFA Schriftenreihe 65, Kongressband 2009, Teil 1: 144-157.

Goßler, P. (2009): Integration von Landwirtschaft und Naturschutz: Das Modellvorhaben Partnerbetrieb Naturschutz Rheinland-Pfalz. Trierer Arbeitsberichte zur Stadt- und Wirtschaftsgeographie 3.

Grath, J.; Scheidleder, A.; Uhlig, S.; Weber, K.; Kralik, M.; Keimel, T.; Gruber, D. (2001): "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results". Final Report. Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794), in kind contributions by project partners. Vienna.

Greven, K., Schindler, R. und Rüde, T. R. (2019): Nitratabbaupotenzial in einem tertiären Aquifer der Wassergewinnung Amern der NEW NiederrheinWasser GmbH – Teil 2: In-situ Bestimmung des Nitratabbaus. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 1/19:32 – 37, Hennef.

GrwV (2017): Verordnung zum Schutz des Grundwassers, Bundesgesetzblatt Nr. 56 vom 15.11.2010, Teil 1, S. 1513 – 1529; zuletzt geändert 2017, Bundesgesetzblatt Nr. 24 vom 09.05.2017, Teil 1, S. 1044 – 1047

Hannappel, S. & C. Köpp (2017): Regionaler Themenbericht - Ermittlung der Ursachen des Eintrages von Tierarzneimitteln in das oberflächennahe Grundwasser in Niedersachsen, Datenauswertung 2012 bis 2016, https://www.nlwkn.niedersachsen.de/service/veroeffentlichungen_webshop/schriften_zum_downloaden/downloads_grundwasser_trinkwasser/veroeffentlichungen-zum-thema-grundwassertrinkwasser-zum-downloaden-44047.html

Hannappel, S., Köpp, C. & T. Bach (2018):Charakterisierung des Nitratabbauvermögens der Grundwasserleiter in Sachsen-Anhalt.- Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Springer Verlag, Heidelberg, 23:311–32, https://doi.org/10.1007/s00767-018-0402-7.

Häußler, S., Prager, K., Nagel, U.-J. (2007): Landwirtschaftliche Interessenvertretung im Agrarumweltbereich. Fallstudie Brandenburg. Working Paper No. 12 SUTRA (Strukturwandel und Transformation im Agrarbereich), DFG Forschergruppe 497. https://www.agrar.hu-berlin.de/de/institut/departments/daoe/publ/sutrawp/wp12.pdf

Heidecke, C., Wagner, A. & Kreins, P. (2012): Entwicklung eines Instruments für ein landesweites Nährstoffmanagement in Schleswig-Holstein.- Berichte aus dem vTI – Agrarökonomie, 08/12.

Hejnowicz, A.P., Rudd, M.A., White P.C.L. (2016): A survey exploring private farm advisor perspectives of agri-environment schemes: The case of England's Environmental Stewardship programme. Land Use Policy 55 (2016) 240–256. http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.005

HLUG (2015): Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in den Grundwasserkörpern des Hessischen Rieds und Lokalisierung von Risikogebieten.- Grundwasser in Hessen, Heft 1, Hrsg: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden

Hölting, B. & W. G. Coldewey (2009): Hydrogeologie.- 7. Auflage, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg.

Hölting, B., Haertle, T., Hohberger, K.H., Nachtigall, K.H., Villinger, E., Weinzierl, W. & J.P. Wrobel (1995): Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. – Geol. Jb. C63, S. 5-24. Hannover.

IfW (2010): Definition und Bewertung von trinkwasserrelevanten Chemikalien im Rahmen der REACH-Verordnung und Empfehlungen zum Screening nach potentiell kritischen Substanzen.- Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Institut für Wasserforschung GmbH, Schwerte

Jirka, G.H., & C. Lang (2009): Einführung in die Gerinnehydraulik.- Universitätsverlag Karlsruhe

Joormann, I., Schmidt, T. (2017): Hindernisse und Perspektiven für mehr Biodiversität in der Agrarlandschaft. Thünen Working Paper 75.

Karali, E., Brunner, B., Doherty, R., Hersperger, A., & Rounsevell, M. (2014). Identifying the Factors That Influence Farmer Participation in Environmental Management Practices in Switzerland. Human Ecology, 42(6), 951–963. http://doi.org/10.1007/s10745-014-9701-5.

Kleeberg, H.-B. & Overland, H. (1989): Zur Berechnung des effektiven oder abflusswirksamen Niederschlags. Institut für Wasserwesen, Mitteilung Heft 32/1990, Universität der Bundeswehr München.

Krajnov, S. R. & Voigt, H.-J.(1990): Geochemische und ökologische Folgen der Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit unter Einwirkung von Wasserschadstoffen.- Zeitschrift für angewandte Geologie, 36 (1990) 11, S. 405-410.

Krämer, R. (1992): Zur Hydrogeologie und Hydrochemie des Unteren Siegtales unter besonderer Berücksichtigung der Nitrate im Sicker- und Grundwasser. - Schriftenreihe des Wahnbachtalsperrenverbandes, Nr. 1; St. Augustin.

Landtag Baden-Württemberg (1987): Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) vom 27. November 1987 (GBL S.742).

Landtag Baden-Württemberg (2001): Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung Baden-Württemberg (SchALVO) vom 20.02.2001 (GBI. 2001, 145ff).

Landtag NI (2007): Verordnung über die Finanzhilfe zum kooperativen Schutz von Trinkwassergewinnungsgebieten vom 3. September 2007. Nds. GVBl. 2007, 436.

LANUV (2014): Nitrat im Grundwasser, Situation 2010 bis 2013 und Entwicklung 1992 bis 2011 in Nordrhein-Westfalen.- LANUV-Fachbericht 55, Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen.

LANUV (2016): Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen – Ergebnisse aus den Monito-ring-programmen 2016, LANUV-Fachbericht 74, Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbrau-cherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Recklinghausen

LAWA (2019): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit Pflanzenschutzmittel, Berichtszeitraum 2013 bis 2016.- Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft, Wasser, beschlossen auf der 157. LAWA-Vollversammlung am 03./04.04.2019 in Gotha, 31.01.2019.

Leson, M., Wisotzky, F., Boddecker, M. (2010): Vertikale Verteilung der Nitratkonzentrationen sowie der Nitratabbaukapazität in den Halterner Sanden der Wassergewinnung Hohe Mark. In: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Kreisstelle Coesfeld [Hrsg.] Bericht der Kooperation Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Stevertalsperre, Jahr 2009, S. 43-47.

Leuchs, W. & Neumann, P. (2013): Situation, Entwicklung und Prognose der Nitratbelastung im Grundwasser Nordrhein-Westfalens 46. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 13.03.-15.03.2013, Aachen, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Band 232, Aachen, Seite 26/1 - 26/14.

LLG(2019): Pilothafte Ausgrenzung der § 13-Gebiete nach Düngeverordnung im Grundwasserkörper „SAL GW 014“.- Bericht der HYDOR Consult GmbH für die Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG), 10.12.2018, Berlin (https://llg.sachsen-anhalt.de/themen/agraroekologie-und-umwelt/landwirtschaftlicher-gewaesserschutz/).

LTZ / Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (2010): Vergleichsflächen gemäß SchALVO – Ackerbau. Effizienzbewertung der Bewirtschaftungsmaßnahmen. Berichtszeitraum Erntejahr 2002 – 2008. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ).

LTZ / Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (2016): SchALVO Nitratbericht – Ergebnisse der Beprobung 2015. http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/pb/MLR.LTZ,Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Wasserschutzgebiete

LTZ / Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (2017): SchALVO Nitratbericht. Ergebnisse der Beprobung 2016. http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/pb/MLR.LTZ,Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Wasserschutzgebiete

LWK (2018a): Nährstoffbericht 2017 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen.- Erstellt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen durch die Landwirtschaftskammer NRW, Münster, 29.03.2018

LWK (2018b): Bericht 2017 Kooperation Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Stevertalsperre.- Herausgeberin: Kooperation Land- und Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Stevertalsperre, Coesfeld, Juni 2018.

LWK Nordrhein-Westfalen (2010): Wasserschutz in der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Aufgaben Ausrichtung Ausblick, Hrsg.: Landwirtschaftskammer NRW, Münster.

LWK Nordrhein-Westfalen (2014): Nährstoffbericht 2014 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. www.landwirtschaftskammer.de

LWK Nordrhein-Westfalen (2017): Nährstoffbericht 2017 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. www.landwirtschaftskammer.de

LWK Nordrhein-Westfalen (2017b): Geschäftsbericht 2016 – Kooperation Landwirtschaft/Wasserwirtschaft im Kreis Paderborn.

LWK Nordrhein-Westfalen (2017c): Saatzeiten von Zwischenfrüchten optimieren. www.riswick.de

LWK Nordrhein-Westfalen, von Thünen Institut (2017): Kooperationsprojekt GROWA + NRW 2021: Quantifizierung regionaler Stickstoffbilanzen der Landwirtschaft in NRW mit dem Modell RAUMIS. Vortragsfolien des Vortrags von Tony Pfingsten (LWK), Elke Brandes (vTI), Horst Gömann (LWK), Peter Kreins (vTI), 2. Projektbegleit-Arbeitskreis Projekt GROWA+ NRW 2021, 14. Dezember 2017, Düsseldorf.

Mellert, K.-H. & C. Kölling (2006): Nitratbelastung des Sickerwassers in einem bewaldeten Wassereinzugs-gebiet der Trinkwasserversorgung Fürstenfeldbruck.- Wasser & Abfall, 1 – 2, 2006, S. 48 – 54

Meyer, B., Schindler, R. und Rüde, T. R. (2018): Nitratabbaupotenzial in einem tertiären Aquifer der Wassergewinnung Amern der NEW NiederrheinWasser GmbH – Teil 1: Auswertung von hydrochemischen Daten und Sedimentanalysen. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 1/18:27 – 33, Hennef.

MKULNV (2014): Maßnahmenprogramm 2016-2021 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas.- Hrsg.: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV NRW); Stand: Dezember 2014, Düsseldorf.

MKULNV (2015): Bewirtschaftungsplan für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas 2010 – 2015, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, online verfügbar unter: www.flussgebiete.nrw.de

MULNV (2018): Jahresbericht 2017 – Garzweiler II, Hrsgb: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, August 2018, online verfügbar unter: https://www.erft-verband.de/wp-content/uploads/2018/11/jahresbericht_garzweiler_2017_web.pdf

Nieder, R.; Köster, W. & Kersebaum, K.-C. (2007). Beitrag der Landwirtschaft zu diffusen N-Einträgen. Wasserwirtschaft, 1-2: 53-57.

NLWKN / Niedersächsischer Landersbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2003): Vorläufige Empfehlungen zur Durchführung von Herbst-Nmin-Programmen. Grundwasser Band 3. Hildesheim.

NLWKN (2010): Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden, Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-Nmin-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte.- Grundwasser, Band 8, Schriftenreihe NLWKN, Norden.

NLWKN (2012): Messung des Exzess-N2 im Grundwasser mit der N2/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz, Themenband Grundwasser, Band 15. Hrsg.: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Hannover

NLWKN (2015a): Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen, Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse.- Grundwasser, Band 19, Schriftenreihe Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden.

NLWKN (2015b): Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle.- Grundwasser, Band 21, Schriftenreihe Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden.

NLWKN (2016): Anforderungen an Erfolgsparameter in Schutzkonzepten und Definition der Zielerreichung, Stand: 03.08.2016.- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden.

NLWKN / Niedersächsischer Landersbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2015a): Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen. Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. Grundwasser Band 19. 2. Auflage, Hannover.

NLWKN / Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2012): Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-Nmin-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte. 1. Auflage 2012. Band 8 Grundwasser.

NLWKN / Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2015b): Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz. Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. 2. aktualisierte Aulage, Februar 2015. Band 21 Grundwasser.

NLWKN / Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2019): Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. 3., aktualisierte Auflage Februar 2019. Band 34 Grundwasser.

NLWKN / Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2019b): Pflichtenheft für die Datenerfassung im DIWA-TGG-Shuttle. Stand 12.03.2019

NRCS (2004a), National Engineering Handbook Part 630, Chapter 10: Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, USDA National Resources Conservation Service.

NRCS (2004b), National Engineering Handbook Part 630, Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes, USDA National Resources Conservation Service.

NRW Landesregierung, Wasserversorgungsunternehmen, Landwirtschafts- und Gartenbauverbände, Landwirtschaftskammern, Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (BGW) (1989): 12-Punkte-Programm in Nordrhein-Westfalen vom 09. Juni 1989.

Obermann, P. (1981): Hydrochemisch/hydromechanische Untersuchungen zum Stoffgehalt von Grundwasser unter dem Einfluss landwirtschaftlicher Nutzung. Habilitationsschrift, Ruhr-Universität Bochum.

Oelmann, M., Czichy, C. Scheele, U., Zaun, S., Dördelmann, O., Harms, E., Penning, M., Kaupe, M., Bergmann, A. & C. Steenpaß (2017): Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung.- UBA-Texte 43-2017, Hrsg.: UBA, Mai 2017, Dessau.

Osterburg, B.; Rühling, I.; Runge, R.; Schmidt, T.G.; Seidel, K.; Antony, F.; Gödecke, B.; Witt-Altfelder, P. (2007): Kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft. In: Osterburg, B. und Runge, T. [Hrsg.]: Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer - eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkerode, Sonderheft 307. S. 3-156.

Patsch, M. (2007): Analyse des Depots des Nitratumsatzes und dessen Heterogenität im quartären Grundwasserleiter der Wasserwerkes Thülsfeld / Emsland, Berücksichtigung bei der Modellierung des Transportes. Dissertation, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, TU Dresden.

PflSchAnwV (1992): Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung vom 10. November 1992 (BGBl. I S. 1887), die zuletzt durch Artikel 1der VO vom 25. November 2013 (BGBl. I S. 4020) geändert worden ist.

Renger, M. (2002): Sicker- und Fließzeiten von Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser in Abhängigkeit von den Standortbedingungen, insbesondere Boden und Gestein.- Arbeitsbericht für die Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, ISBN 3-934629-85-7, ISSN 0945-9553.

Ruto, E., & Garrod, G. (2009). Investigating farmers' preferences for the design of agri-environment schemes: a choice experiment approach. Journal of Environmental Planning and Management, 52(5), 631–647. http://doi.org/10.1080/09640560902958172

Schleyer, R. & H. Kerndorf (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim.

Schmidt, T.G. und Osterburg, B. (2010): Wirkung von Wasserschutzmaßnahmen auf den mineralischen Stickstoffgehalt von Böden - Ergebnisse der Arbeiten im vTI zum Projekt WAgriCo2.

Schmidt, T.G., Gödecke, B. und Antony, F. (2007): Wasserschutzwirkung von Agrarumweltmaßnahmen - Statistische Auswertung von Herbst-Nmin-Werten aus niedersächsischen Wassergewinnungsgebieten. In: Oster-burg, B. und Runge, T. [Hrsg.]: Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer - eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkerode, Sonderheft 307, S. 229-251.

Schmidt, T.G., Gödecke, B., Antony, F. (2007): Wasserschutzwirkung von Agrarumweltmaßnahmen – Statistische Auswertung von Herbst-Nmin-Werten aus niedersächsischen Wassergewinnungsgebieten. In: Osterburg, B. und Runge, T. [Hrsg.]: Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer - eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkerode, Sonderheft 307. S. 229-251.

Schroeder, L. A., Chaplin, S., Isselstein, J. (2015): What influences farmers' acceptance of agrienvironment schemes? An ex-post application of the 'Theory of Planned Behaviour'. Landbauforschung 65: 15–28. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn055546.pdf

SRU - Sachverständigenrat für Umweltfragen (2015): Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem.- Sondergutachten, Januar 2015, Wissenschaftliche Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim BMELV, Bonn.

Steinmann, F. (2012): Erfolgsbewertung – Herbst-Nmin: Im Herbst Nmin-Wert messen Risiko der Stickstoffauswaschungen abschätzen. Bauernblatt Schleswig-Holstein, 7. Januar 2012. https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/G/grundwasser/Downloads/Bauernblatt_Artikelserie_2012_Nr_1.html

Storzer W. (2002): Das Rückstandsverhalten neuer Herbizide in Kulturpflanzen.- Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 54 (8), S. 193-203, Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Strek, H.J. (2005): The science of DuPont's soil residual herbicides in Canada. Pages 31-44 in R. C. Van Acker (Hrsg.). Soil Residual Herbicides: Science and Management. Topics in Canadian Weed Science, Volume 3. Sainte-Anne-de Bellevue, Québec: Canadian Weed Science Society – Société canadienne de malherbologie.

SW Münster (2019): Modernisierung der Wasserinfrastruktur Münsters, https://www.stadtwerke-muenster.de/unternehmen/energie/unser-angebot-fuer-sie/erzeugungsanlagen/wasserwerke/zukunft-der-trinkwasserinfrastruktur.html?no_cache=1 (letzter Zugriff am 23.09.2019)

Thünen Institut (2014): Thünen Atlas: Landwirtschaftliche Nutzung Version 2014. Darstellung: Gebietsstand der Landwirtschaftszählung 2010. Online unter: https://gdi.ti.bund.de/lr/agraratlas/indexMap.htm?LP=1

Treskatis, C. (1993): Zur Hydrogeologie des Buntsandsteins in der Mechernicher Voreifel am Beispiel des Quellsystems im Mehlenbachtal (Nördliche Mechernicher Vorlandsbucht).- Dissertation RWTH Aachen, 18.08.1993.

UBA (2011): CORINE Land Cover - Aktualisierung 2006 für Deutschland.- Umweltforschungsplan des des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Förderkennzeichen 3707 12 200 und 3708 12 200, Hrsg: UBA-FB 001413, Texte 13/2011, Dessau.

UBA (2011): Stickstoff - Zuviel des Guten? – Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren, 42 S.

UBA (2015): Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdüngern.- Sachverständigengutachten, Projektnummer 37240 UBA-Texte 80/2015, Projektbüro mareg (markt+region), Ippesheim.

UBA (2019): Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln (PSM), Stand: März 2019, Hrsg: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UK TAG (Technical Advisory Group on the Water Framework Directive) (2012): "Groundwater Trend Assessment". Draft v0.4.

WALTHER, W.; SCHEFFER, B.; TEICHGRÄBER, B. (1985): Ergebnisse langjähriger Lysimeter-, Dränund Saugkerzenversuche zur Stickstoffauswaschung bei landbaulich genutzten Böden und Bedeutung für die Belastung des Grundwassers.- Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig, 40: 216 S.

Wessolek, Kaupenjohann, M. & M. Renger (2009): Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis.- In: Bodenökologie und -genese, Heft 40, technische Universität Berlin.

Wilder, H. & T Schöbel (2008): Leitfaden zur Schutzfunktionsbewertung der Grundwasserüberdeckung.- Geologischer Dienst NRW, Krefeld

Wisotzky, F. (2011): Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeochemische Modellierung.- Springer, Berlin

ZNR (Zentrum für nachwachsende Rohstoffe) & LWK NRW (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2016). Biogas in Nordrhein-Westfalen: Auswertung der Biogasanlagen-Betreiberdatenbank der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Stand 15.07.2016. online verfügbar unter: https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/technik/biogas/pdf/biogas-in-nrw-2016.pdf

9.2 Unveröffentlichte Dokumente, Gutachten, Berichte, Vorträge

AdV (2008): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) ATKIS-Katalogwerke ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM Version 6.0 Stand: 11.04.2008; Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV)

AG Wasserversorgung (2011): Monitoring Garzweiler II, Sicherung der Wasserversorgung, Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit Jahr 2011 Arbeitsgruppe Wasserversorgung.

ahu (2014): Erläuterungsbericht zum wasserrechtlichen Bewilligungsantrag WGA Hastenrather Graben der enwor GmbH, ahu AG Aachen, Juni 2014.

Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden e.V. (2012): Bericht Nr. 5 – Herbst 2011 bis Sommer 2012. Stand November 2012.

Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden e.V. (2016): Bericht Nr. 7 – Herbst 2013 bis Sommer 2014. Stand Oktober 2014.

Arbeitskreis Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden e.V. (2016): Bericht Nr. 9 – Herbst 2015 bis Spätsommer 2016. Stand Dezember 2016.

Aue, C. (2014): Herausforderungen und Anpassungsstrategien für die Trinkwasserversorgung.- Fachkonferenz: Hitze, Hochwasser, Nitrat, drei Herausforderungen für die sichere Wasserversorgung von morgen, Präsentation, 04. Juni 2014, Hannover.

BDEW & LWK NRW (2012): Zweite Novelle vom 11.07.2012 zur Rahmenvereinbarung vom 14.11.1991 zwischen Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. Landesgruppe Nordrhein-Westfalen und Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen zu den Kooperationen zwischen Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft und Gartenbau in Nordrhein-Westfalen.

BEW (2017): Wasserschutzgebiet Mussum, Darstellung der Einzugsgebiete der Brunnen sowie Lage der Messstellen.- Schriftlich übersandte Dokumente der Bocholter Energie- und Wasserversorgungs GmbH, 13.12. 2017

BGD (2017): Quantifizierung des Nitratabbaus in der ungesättigten Zone im Labormaßstab zur besseren Beschreibung der Grundwasserdeckschichten im Schwarzerdegebiet.- Bericht der BGD ECOSAX für die Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) Sachsen-Anhalt, Dresden.

Bieske und Partner (2005a): Studie WW Eicks der Verbandswasserwerk GmbH.- Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH, September 2005, Lohmar.

Bieske und Partner (2005b): Auswertung der Untersuchungsergebnisse der Nitratentwicklung und Sickerwasserdaten der Feldmessstation im Einzugsgebiet der Mehlenbachquellen.- Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH, September 2005, Lohmar.

Bieske und Partner (2012): Erläuterungsbericht zum hydrogeologischen Monitoring der WGA Mehlenbach/Eicks der Verbandswasserwerk GmbH.- Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH, Sachstand Oktober 2011, Mai 2012, Lohmar.

Bieske und Partner (2013a): Hydrogeologisches Gutachten zum wasserrechtlichen Bewilligungsantrag für die Wassergewinnungsanlage Flüren der Stadtwerke Wesel GmbH. Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH, 19.06.2013, Lohmar.

Bieske und Partner (2013b): Wasserwerk Geldern-Hartefeld - Bericht des Gewässerschutzbeauftragten 2012/2013 der Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH, 21.03.2013, Lohmar.

Bieske und Partner (2013c): Auswertung der Sickerwasser- und Grundwasserdaten eines Corg-Testfeldes im Vorfeld der Wassergewinnungsanlage Geldern-Hartefeld – Stand 02/2013. Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH, 02.04.2013, Lohmar.

Bußmann, M. (2019): Kooperationsbeispiel 3: Maßnahmenentwicklung und Maßnahmenanpassung über die Zeit für ein grünlandreiches WSG – Erfahrungsaustausch der Trinkwasserschutzkooperationen 31. Januar 2019 *[Präsentation]*. Landwirtschaftskammer NRW. Köln-Auweiler.

Bwl (2018): Limnologiischer Jahresbericht Kerspetalsperre und Einzugsgebiet.- Bergisches Wasser- und Umweltlabor, Nienhüser, 20.07.2018

Consulaqua & Geo-Infometric (2014): Gutachten zur Ausweisung eines Trinkwasserschutzgebietes für die Wassergewinnungsanlagen „Hedem“ des WBV Herford-West und „Harlinghausen“ der Stadt Preußisch Oldendorf, Hildesheim, August 2014.

Cremer, N. (2009): Entwicklung der Nitratkonzentrationen des Grundwassers im Einzugsgebiet des Wasserwerks Kaldenkirchen-Grenzwald.- Unveröffentlichte Präsentation, Nettetal, 13.05.2009.

Denzig, D. (2006): Entwicklung und Anwendung eines hydrogeochemischen Stoffflussmodells zur Beschreibung konzentrationsbestimmender Prozesse im Rohwasser der Wassergewinnung Liedern der BEW.- Masterarbeit Dorothea Denzig, Bauhaus Universität Weimar.

Finck, M. (2019): Grundwasserschutz mit der SchALVO in Baden-Württemberg. Vortrag STEER Workshop, 24.05.2019, Osnabrück.

Hartung, T., Hoetmer, M. & M. Quirin (2016): Aktuelle N2-Ar-Untersuchungen des NLWKN, Ergebnisse landesweiter Untersuchungen 2015/2016.- 2. Gewässerkunde-Workshop am 02.11.2016 in Braunschweig.

Herrmann, F., Tetzlaff, B. & Wendland, F. (2019): Methodik und Ergebnisse der Modellierung des Wasserhaushalts in NRW (1981-2010) mit mGROWA.- FZ Jülich, Präsentation in 7. Begleit-AK zum Projekt GROWA+ NRW2021, 12. Dezember 2019, Duisburg.

Horstkötter, M. (2016): Modell- und Pilotvorhaben: Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen mit Hoftorbilanzen eines Referenzbetriebsnetzes außerhalb der Trinkwassergewinnungsgebiete und der WRRL-Beratungskulisse.- Grundwasserworkshop 01.06.2016 NLWKN in Cloppenburg .

HYDOR (2017): Modellierung der Sickerwassermengen und Nitratverlagerung an je zwei Bodenwassermessplätzen und Tiefenprofilen sowie Beurteilung des Austrags- und Abbauverhaltens für Nitrat, Modell-validierung als Basis für eine modellhafte Gefährdungsabschätzung.- Bericht der HYDOR Consult GmbH für die Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG), 05.12.2017, Berlin.

IWW (2000): Entwicklung eines vereinheitlichten Verfahrens zur Erfassung und Bewertung der Auswirkungen von Vereinbarungen zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft auf die Gewässerqualität in Nordrhein-Westfalen.- Vorstudie der IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung Gemeinnützige GmbH Mülheim an der Ruhr im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Dezember 2000

IWW (2006): Entwicklung eines vereinheitlichten Verfahrens zur Erfassung und Bewertung der Auswirkungen von Vereinbarungen zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft auf die Gewässerqualität in Nordrhein-Westfalen.- Abschlussbericht der IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung Gemeinnützige GmbH, Mülheim an der Ruhr im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Dezember 2006

IWW (2011): Auswirkungen der Kooperationsaktivitäten Landwirtschaft / Wasserwirtschaft auf die Entwicklung der Grund- und Rohwasserqualität im Einzugsbereich der Wassergewinnung Flüren / Diersfordt der Stadtwerke Wesel GmbH; Mülheim/Ruhr.

IWW (2014): Auswertung der Grund- Roh- und Trinkwasserbeschaffenheit der WGA Helenenbusch und Vrasselt Stadtwerke Emmerich GmbH, Präsentation vom 20.05.2014, Mühlheim/Ruhr.

IWW (2017): Auswertung Grundwassermonitoring 2017.- Bestellung der Stadtwerke Wesel GmbH Nr. 4500023295 vom 03.04.2017 an das IWW.

Kauka, A. (2017): Bewertung landwirtschaftlicher Maßnahmen zur Minderung von N-Einträgen aus landwirtschaftlichen Quellen in die Gewässer Nordrhein-Westfalens.

Kuhr, P. Kunkel, R., Tetzlaff, B. & F. Wendland (2014): Räumlich differenzierte Quantifizierung der Nährstoffeinträge in Grundwasser und Oberflächengewässer in Sachsen-Anhalt unter Anwendung der Modellkombination GROWA-WEKU-MEPhos.- FZ Jülich, Endbericht vom 25.04.2014, Jülich.

Kunkel, R. & Wendland, F. (2019): N-Einträge ins Grundwasser und N-Minderungsbedarf zur Erreichung des Grundwasserschutzziels.- FZ Jülich, Präsentation in 7. Begleit-AK zum Projekt GROWA+ NRW2021, 12. Dezember 2019, Duisburg.

Konrad, C. (2007): Methoden zur Bestimmung des Umsatzes von Stickstoff, dargestellt für drei pleistozäne Grundwasserleiter Norddeutschlands. Disseration TU Dresden.

LAWA (2013): Rahmenkonzeption zur Aufstellung von Monitoringprogrammen und zur Bewertung des Zustands von Oberflächengewässern und Grundwasser, (WRRL 2.1.2; Stand: 30.01.2013)

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Zentrale Vergabestelle Düsseldorf (2016): Ergebnisprotokoll „Zweite Dialogrunde Kooperativer Gewässerschutz“ am 11.11.2016 im MKULNV NRW. Vergabe-Nr. 15/145.1

NEW (2019): Schriftliche Mitteilungen der NEW Niederrhein Wasser GmbH zu den Trinkwasserschutzgebieten Gatzweiler und Dülken, Mönchengladbach.

Rapp, C. (2019): Maßnahmenstrategie der Landesregierung zur Verminderung landwirtschaftsbedingter Gewässerbelastungen. Vortrag, 1. Vernetzungstreffen Trinkwasserschutzkooperationen, 31. 01 2019, Landwirtschaftskammer NRW, Köln-Auweiler (unveröff.).

Radzuweit, C., Lammerich, S. & A. Wolf (2016): Bericht Nr. 9 - Herbst 2015 bis Spätsommer 2016.- Hrsg.: AK Ackerbau und Wasser im linksrheinischen Kölner Norden e.V.

RheinEnergie (2010): Untersuchungen zur Effizienz von Gewässerschutzmaßnahmen zur Vermeidung von Nitrateinträgen. Interne Dokumentation.

Schindler, R. (2015): Effizienzkontrollen in verschiedenen Ebenen im Einzugsgebiet eines Wasserwerks DWA-Seminar „Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs“, 25. Februar 2015, Viersen

Schindler, R. (2016): Untersuchung des Nitratabbauvermögens in einem Trinkwasserschutzgebiet aus Sicht eines Wasserversorgungsunternehmens.- DWA-Seminar „Stickstoff-Umsatz im Grundwasser“, 18. Februar 2016, Hamburg

Schmidt und Partner (2009): Erläuterungsbericht zum Wasserschutzgebiet „Boker Heide“ für die HFB I, II und IV der Wassergewinnungsanlage „Boker Heide“ im Auftrag der Bezirksregierung Detmold, Juli 2009.

Schmidt und Partner (2017): Beweissicherung zur Grundwasserentnahme für die HFB I, II und IV der Wassergewinnungsanlage „Boker Heide“ im Auftrag der Gemeinschaftswasserwerke Boker Heide GmbH, Mai 2017.

SW Emmerich (2016): Monitoringbericht zur Überwachung der Grundwassergüte im Einzugsgebiet des Wasserwerks Helenenbusch Wasserwirtschaftsjahr 2015.- Stadtwerke Emmerich GmbH & Lippe Wassertechnik GmbH.

SW Münster (2019): Schriftliche Mitteilungen der Stadtwerke Münster GmbH zum Trinkwasserschutzgebiet Münster-Kinderhaus, Münster.

Voigt, H.-J. (1987): Nutzerrichtlinie Hydrogeologisches Kartenwerk der DDR 1 : 50 000.- Hrsg.: Zentrales Geologisches Institut, Berlin .

Wolter, R. (2014): Überblick zur Nitratproblematik in Deutschland.- Konferenz: Hitze, Hochwasser, Nitrat, drei Herausforderungen für die sichere Wasserversorgung von morgen, 04. Juni 2014, Hannover.

WTV (2018): Wassergütebericht 2017.- Hrsg.: Wahnbachtalsperrenverband, Siegburg online verfügbar unter www.wahnbach.de)

10 Anhänge

10.1 Leistungsbeschreibung zur Erstellung der Studie, Vergabe-Nr. 15/145.1 vom 21.12.2016
10.2 Übersichtskarten zur Belastung mit Nitrat bzw. PSM und Trends
10.2.1 Emmerich-Helenenbusch
10.2.2 Mussum
10.2.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp
10.2.4 Hartefeld
10.2.5 Kaldenkirchen-Grenzwald
10.2.6 Breyell und Lobberich
10.2.7 Lüttelbracht
10.2.8 Gatzweiler
10.2.9 Dülken-Boisheim
10.2.10 Hastenrather Graben
10.2.11 Eicks-Mehlenbach
10.2.12 Meindorf
10.2.13 Kinderhaus
10.2.14 Hedem
10.2.15 Boker Heide
10.2.16 Stevertalsperre (Teileinzugsgebiet Funne)
10.2.17 Kerspetalsperre
10.3 Ganglinien zu Nitrat bzw. PSM
10.3.1 Emmerich-Helenenbusch
10.3.2 Mussum
10.3.3 Flüren-Diersfordt-Blumenkamp
10.3.4 Hartefeld
10.3.5 Kaldenkirchen-Grenzwald
10.3.6 Breyell und Lobberich
10.3.7 Lüttelbracht
10.3.8 Gatzweiler
10.3.9 Dülken-Boisheim
10.3.10 Hastenrather Graben
10.3.11 Eicks-Mehlenbach
10.3.12 Meindorf
10.3.13 Kinderhaus
10.3.14 Hedem
10.3.15 Boker Heide
10.3.16 Kerspetalsperre
10.4 Übersicht Daten Nitratdienst Nordrhein-Westfalen
10.5 Fragebogen Akzeptanzanalyse