Sozioökonomische Bewertung für Maßnahmen zum Management von Regenwasser: Kosten und Nutzen blau-grüner Infrastrukturen

Ergebnisse des Projekts: Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse (AMAREX)

Jenny Tröltzsch

Flora Dicke

Hannes Schritt

Ulf Stein

Bericht

2. Version, 11. Juni 2026

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Ecologic Institut

Kontakt

Jenny Tröltzsch
Coordinator Adaptation, Senior Fellow
Ecologic Institut
Pfalzburger Straße 43/44
10717 Berlin

E-Mail: jenny.troeltzsch@ecologic.eu

Vorgeschlagene Zitierweise

Tröltzsch, J., Dicke, F., Schritt, H. Stein, U. (2026): Sozioökonomische Bewertung für Maßnahmen zum Management von Regenwasser: Kosten und Nutzen blau-grüner Infrastrukturen. Ergebnisse des Projekts: Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse (AMAREX). Ecologic Institut, Berlin.

Danksagung

Die Autor:innen bedanken sich für die wertvollen Beiträge der Projektpartner aus dem AMAREX-Projekt, deren Projektresultate und die immer kooperative Zusammenarbeit diese Forschung maßgeblich unterstützt haben. Unser besonderer Dank gilt Jonas Neumann und Eduard Rott für ihre Beiträge zur Modellierung, ihr konstruktives Feedback zu unseren Methoden und Ergebnissen und, im Falle von Jonas Neumann, für die Unterstützung bei der Visualisierung. Zudem danken wir herzlich Christian Scheid für die Projektkoordination sowie für seine Unterstützung und Feedback zu unseren Arbeiten. Wir danken auch Linnea Landschaftsarchitekten für die Unterstützung bei der Abschätzung der CO_2-Emission.

Ecologic Institut:
Wissenschaft und Forschung für eine nachhaltige Welt

Das Ecologic Institut ist ein unabhängiger Think Tank für umweltpolitische Forschung, Analyse und Beratung. Seit seiner Gründung 1995 bringt das Institut neue Erkenntnisse und Ideen in die Umweltpolitik ein. Es fördert nachhaltige Entwicklung und trägt zur Verbesserung der umweltpolitischen Praxis bei. Seine Forschung zielt dabei auch auf die Integration von Umweltbelangen in andere Politikfelder. Ein besonderes Anliegen ist es darüber hinaus, die europäischen und internationalen Dimensionen in Forschung, Bildung und dem umweltpolitischen Diskurs zu stärken. Das Ecologic Institut ist mit Büros in Berlin und Brüssel präsent.

Heute arbeiten über 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das Ecologic Institut. Sie kommen aus über 25 Ländern. Mit ihrer vielfältigen Expertise decken sie die gesamte Bandbreite der Umweltpolitik, nachhaltigen Entwicklung und sozial-ökologischen Forschung ab. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Ecologic Instituts forschen in inter- und transdisziplinären Projekten. Sie beforschen, begleiten und evaluieren nationale, europäische und internationale Politikprozesse und bringen Akteure aus Wissenschaft, Politik und Praxis zusammen. Das Ergebnis sind fundierte Analysen und praktische Empfehlungen. In Zusammenarbeit mit führenden US-amerikanischen und deutschen Universitäten ist das Institut in der Lehre aktiv.

Das Ecologic Institut finanziert sich als privates, gemeinnütziges Institut durch Projekte. Geldgeber sind u.a. die Europäische Kommission, das Europäische Parlament, das Bundesumweltministerium, das Bundesforschungsministerium, das Umweltbundesamt sowie diverse Stiftungen.

Das Ecologic Institut ist Mitglied des Ecological Research Network (Ecornet).

Das Ecologic Institut ist gemeinnützig, Spenden sind steuerlich absetzbar.

Weitere Informationen: **ecologic.eu**

Zusammenfassung

Der Klimawandel führt in urbanen Räumen zunehmend zu einer Verschärfung von Extremereignisse wie Starkregen mit Überflutungen sowie Hitzeperioden und Trockenheit. Vor diesem Hintergrund gewinnt eine angepasste und multifunktionale Regenwasserbewirtschaftung durch blau-grüne Infrastrukturen an Bedeutung. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der sozioökonomischen Analysen im Forschungsprojekt AMAREX („Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse“) zusammen. Ziel der Analyse ist es, die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung über ihre rein wasserwirtschaftlichen Funktionen hinaus systematisch zu bewerten und zusätzliche ökologische, soziale und ökonomische Nutzen sichtbar zu machen.

Im Rahmen des Berichts werden insgesamt 20 Maßnahmenvarianten der Regenwasserbewirtschaftung untersucht, die sich in ihrer Zielsetzung und Auslegung unterscheiden: konventionelle Maßnahmen, starkregenoptimierte Maßnahmen sowie Maßnahmen mit Wasserspeicherfunktion zur Vorsorge gegen Trockenheit. Die Analysen basieren unter anderem auf hydrologischen Modellierungen für zwei urbane Pilotgebiete in Berlin und Köln, welche im Rahmen von anderen Arbeitspaketen des Projektes durchgeführt wurden.

Methodisch kombiniert der Bericht drei zentrale Bewertungsschritte: Erstens wird ein Wirkungsgefüge entwickelt, das die vielfältigen direkten und indirekten Wirkungen von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf Wasserhaushalt, Umwelt, Stadtklima, Gesundheit und soziale Aspekte systematisch darstellt. Zweitens erfolgt eine multikriterielle Bewertung, die ökologische, soziale, ökonomische, wasserbezogene und anwendungsbezogene Kriterien integriert. Drittens werden ausgewählte Kosten- und Nutzenkomponenten monetarisiert, um den gesamtgesellschaftlichen Wert der Maßnahmen in einer Kosten-Nutzen-Analyse abzubilden.

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere Maßnahmen mit integrierten Grünelementen und Wasserspeicherung hohe Zusatznutzen für Stadtklima, Biodiversität, Erholung und Klimaanpassung bieten. Der Bericht unterstreicht damit die Bedeutung ganzheitlicher Bewertungsansätze für eine fundierte Priorisierung von blau-grünen Infrastrukturen in der kommunalen Planungspraxis.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 8

2 Wirkungszusammenhänge und Nutzenkomponenten für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen 10

3 Multikriterielle Bewertung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen 15

3.1 Einleitung 15
3.2 Methodik und Vorgehen 15
3.3 Ergebnisse 20
3.4 Diskussion und Fazit 36
3.5 Tool zur multikriteriellen Bewertung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen 39

4 Monetäre Kosten- und Nutzenbewertungen von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen 40

4.1 Einleitung 40
4.2 Methodik und Vorgehen 40
4.3 Ergebnisse 43
4.4 Diskussion und Fazit 57

5 Zusammenfassung der Ergebnisse 58

6 Quellenverzeichnis 59

7 Anhänge 62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der AMAREX Maßnahmen 8
Abbildung 2: Sozial-ökologische Funktionen von RWB Maßnahmen 11
Abbildung 3: Wirkungsgefüge 12
Abbildung 4: Analysevorgehen MKA 16
Abbildung 5: AMAREX Multikriterienanalyse Tool 39
Abbildung 6: Analysevorgehen KNA 42
Abbildung 7: Nutzenbilanz für zwei RWB-Maßnahmen 57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über Kriterien und Indikatoren 18
Tabelle 2: Bewertungsübersicht ökonomische Kriterien 20
Tabelle 3: Bewertungsübersicht soziale Kriterien 22
Tabelle 4: Bewertungsübersicht Anwendungsbezogene Kriterien 26
Tabelle 5: Bewertungsübersicht Wasserhaushaltskriterien 28
Tabelle 6: Bewertungsübersicht andere umweltbezogene Kriterien 31
Tabelle 7: Bewertung Synergien Regen-Trockenheit 33
Tabelle 8: Übersicht Gesamtbewertung 35
Tabelle 9: Übersicht über Kosten- und Nutzenkomponenten 43
Tabelle 10: Monetarisierter Nutzen Überflutungsschutz in Berlin 1 (100-jährliches Niederschlagsereignis) 45
Tabelle 11: Jährlicher monetarisierter Nutzen Regenwasserinfiltration 47
Tabelle 12: Jährlicher monetarisierter Nutzen Innenraumtemperaturregulation 48
Tabelle 13: Jährlicher monetarisierter Nutzen Luftreinhaltung 50
Tabelle 14: Jährlicher monetarisierter Nutzen städtische Ästhetik und urbane Flora und Fauna 51
Tabelle 15: Investitionskosten (pro Jahr) 52
Tabelle 16: Betriebs- und Instandhaltungskosten (pro Jahr) 53
Tabelle 17: Monetarisierte Kosten Emissionen im Bau (pro Jahr) 54
Tabelle 18: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Berlin 1 55
Tabelle 19: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Köln Kalk 56

Abkürzungen

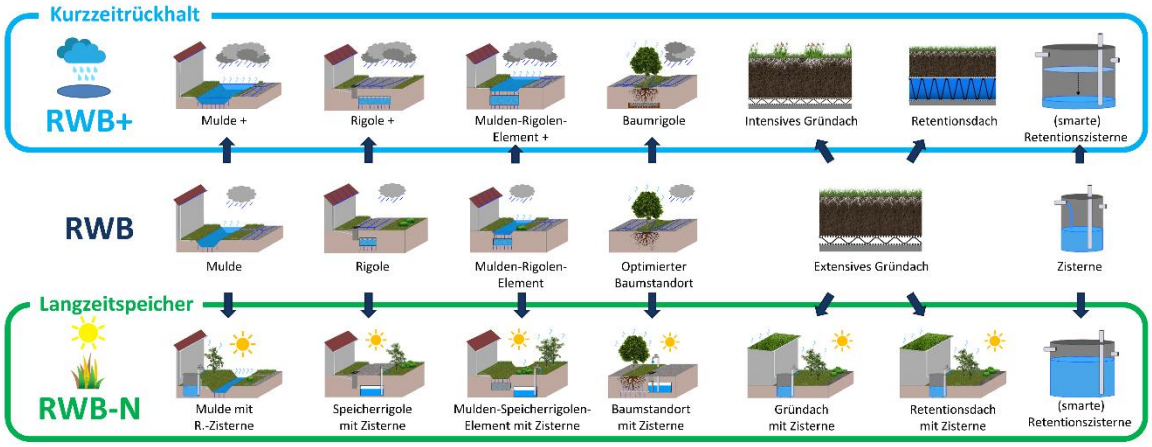
AFS	**Abfiltrierbare Feststoffe**
AP	**Arbeitspaket**
BGI	**Blau-grüne-Infrastruktur**
CO_2	**Kohlenstoffdioxid**
ETS	**Europäisches Emissionshandelssystem**
HQ100	**100-jährliches Niederschlagsereignis**
NO_x / NO / NO_2	**Stickoxide / Stickstoffmonoxid / Stickstoffdioxid**
PM / $PM_{2,5}$ / PM_{10}	**Feinstaub**
RWB	**Regenwasserbewirtschaftung**
SO_2	**Schwefeldioxid**
THG	**Treibhausgas(e)**
WTP	**Willingness to pay (Zahlungsbereitschaft)**

1 Einleitung

Das Projekt AMAREX, kurz für "Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse", untersucht Möglichkeiten zur Anpassung des Regenwassermanagements an die zunehmenden Extremereignisse Starkregen und Trockenheit als Beitrag zur Klimafolgenanpassung. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unterstützt und wurde zwischen Februar 2022 und Juli 2025 durchgeführt.

Im Rahmen des AMAREX Projektes wurden 20 Maßnahmen der Blau-grünen Infrastruktur (BGI) analysiert, deren Details und Eigenschaften durch Informationssteckbriefe zu jeder Maßnahme und deren Ausprägungen in AP2 und AP3 ausformuliert wurden. Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Maßnahmen für verschiedene Zielsetzungen ausgelegt wurden. Eine Standard Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme (**RWB-Maßnahme)** dient als Referenzszenario. Diese sind so dimensioniert, dass sie einen 5-Jahres-Regen zurückhalten können. Ein 5-Jahres-Regen (auch 5-jährliches Regenereignis oder 5-jährlicher Niederschlag) bezeichnet in der Hydrologie ein Regenereignis, das statistisch gesehen einmal in fünf Jahren auftritt. RWB-Maßnahmen haben keine Wasserspeicherfunktion. Die **RWB+ Maßnahmen** wurden so angelegt, dass sie Niederschlag kurzzeitig zurückhalten können und damit die Niederschlagsspitzen kappen. Sie sind in AMAREX so dimensioniert, dass ein 100-Jahres-Regen zurückgehalten werden kann. Auch sie haben keinen Speicher. Die **RWB-N Maßnahmen** haben das Ziel eine langfristige Wasserspeicherung zu ermöglichen, u.a. damit das Wasser zur Bewässerung genutzt werden kann. Diese Maßnahmen sind anhand des Bewässerungsbedarfes dimensioniert. Für die Modellierungen war der Ausgangspunkt eine 2500 m² Dachfläche eines Flachdachs (mit Kies) von dem Wasser in die RWB-Anlagen läuft. In den AMAREX Modellierungen darf innerhalb der simulierten 10 Jahre nur in einem von 10 Jahren eine Trinkwassernachspeisung erfolgen (sog. 9-von-10-Regel). In Berlin werden 1000 m² Wiese und 14 Bäume und in Köln werden 1335 m² Wiese und 19 Bäume bewässert. Die unterschiedlichen m² Wiese und Anzahl Bäume ergeben sich aus dem vorhandenen Niederschlag und der unterschiedlichen Verdunstung in Köln und Berlin.

Abbildung 1: Übersicht der AMAREX Maßnahmen



Quelle: AMAREX / RPTU Kaiserslautern-Landau © 2025

Für diese Maßnahmen wurden in AMAREX Modellierungen für Starkregenvorsorge durchgeführt, welche die Überflutungsgefährdung für die verschiedenen Maßnahmen auf Basis eines hydraulischen Überflutungsmodells für Berlin 1 berechnen (Scheid et al., in Veröffentlichung). Weiterhin werden Nutzungspotentiale von RWB-N Anlagen für die lokale Vorsorge gegen Hitze

und Trockenheit insbesondere durch Bereitstellung von Betriebswasser für die Bewässerung urbanen Grüns identifiziert. Dies erfolgte anhand eines neu in AMAREX entwickelten EASB-Modells (Minke et al., in Veröffentlichung).

Dieser Bericht fasst die sozioökonomischen Betrachtungen innerhalb des AMAREX-Projektes zusammen. Das Ziel dieser Betrachtungen ist, zusätzlich zu direkten wasserbezogenen Effekten weitere Nutzen, z.B. soziale, ökonomische und weitere ökologische Effekte, bzw. die Kosten der Maßnahmen aufzuzeigen. Die Arbeiten umfassten eine systematische Analyse von Wirkungszusammenhängen für Regenwasserbewirtschaftung (siehe Kapitel 2), eine Multi-Kriterien-Analyse der Maßnahmen (Kapitel 3) und eine monetäre Bewertung ausgewählter Nutzenaspekte und der Maßnahmenkosten (Kapitel 4).

Neben den Betrachtungen für eine Dachfläche von 2.500 m^2 wurde für die Monetarisierung der Nutzen die zwei Pilotgebiete genutzt: Berlin 1, welches ein Gebiet im Norden-Neuköllns umfasst, und der Stadtteil Köln-Kalk.

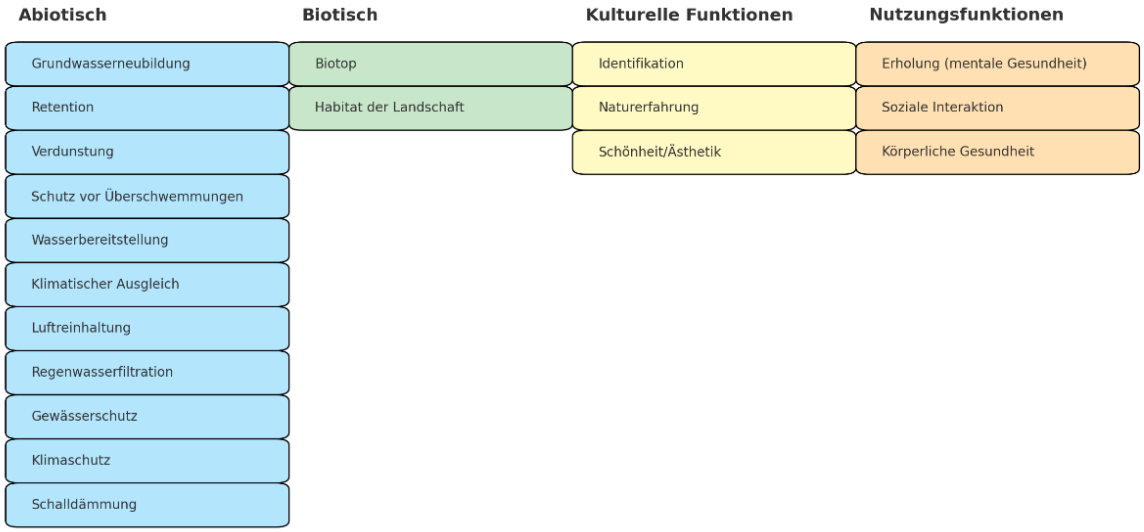
2 Wirkungszusammenhänge und Nutzenkomponenten für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen

Als erster Schritt der sozioökonomischen Bewertung im AMAREX Projekt wurden Wirkungszusammenhänge und Nutzenkomponenten für blau-grüne Infrastrukturen der Regenwasserbewirtschaftung identifiziert und dargestellt. Das erstellte Wirkungsgefüge (s. Abbildung 3) ist eine systematische Operationalisierung der sozialen, ökologischen und ökonomischen Funktionen von RWB Maßnahmen und deren Verknüpfungen. Das Wirkungsgefüge ist die Voraussetzung für die Nutzenanalyse der RWB Maßnahmen. Auf Basis der Zusammenstellung aller Funktionen können zudem Synergien für verschiedene Extremereignisse identifiziert werden. In diesem Kapitel werden die Wirkungszusammenhänge und Nutzenkomponenten dargestellt, womit die Grundlage für die systematische Operationalisierung der Wirkungen der Maßnahmen für die ökologische, soziale und ökonomische Betrachtung im folgenden Kapitel gelegt wird.

In einer Literaturrecherche wurden zunächst mehr als 40 Funktionen und Wirkungen von RWB Maßnahmen auf den Wasserhaushalt (Grundwasserneubildung, Regenwasserrückhalt, Verdunstung), auf Schutzgüter (Wasser, Luft, Biodiversität und Klima) sowie viele weitere sozio-kulturelle Aspekte (Identifikation, Erholung, soziale Interaktion, Ästhetik, etc.) identifiziert. Für die Recherche wurden verschiedene Quellen herangezogen, sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus grauer Literatur. Dabei wurden insbesondere Ergebnisse von H2020-Forschungsprojekten berücksichtigt, die sich mit Naturbasierten Lösungen beschäftigen. Ein Beispiel ist der Urban Nature Atlas, der die sozio-ökonomischen Wirkungen von über 1.000 Naturbasierten Lösungen erfasst. Die Wirkungen bzw. Funktionen wurden anschließend auf die relevantesten Funktionen für die in AMAREX betrachteten Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen mit ihren spezifischen Charakteristika fokussiert und anhand eines Schemas des *Handwörterbuches der Stadt- und Raumentwicklung* (Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 2018) kategorisiert und begrifflich nachgeschärft (s. Abbildung 2). Die Übersicht lehnt sich damit an die deutsche Forschung zu Ökosystemleistungen an und bietet eine bestmögliche Übereinstimmung mit den Begriffen aus Rechtsnormen und Verwaltung in Deutschland.

Für die Kategorisierung wurden die drei Kategorien: ökologische, kulturell-gestalterische und soziale Funktionen verwendet. Die ökologische Funktion wird dabei nochmals in abiotische Effekte, wie Grundwasserneubildung, Retention oder Gewässerschutz, und biotische Effekte, z.B. Biotop und Habitat der Landschaft, aufgeteilt. Es wurden etwa 20 Funktionen und Wirkungen in das Wirkungsgefüge aufgenommen.

Abbildung 2: Sozial-ökologische Funktionen von RWB Maßnahmen

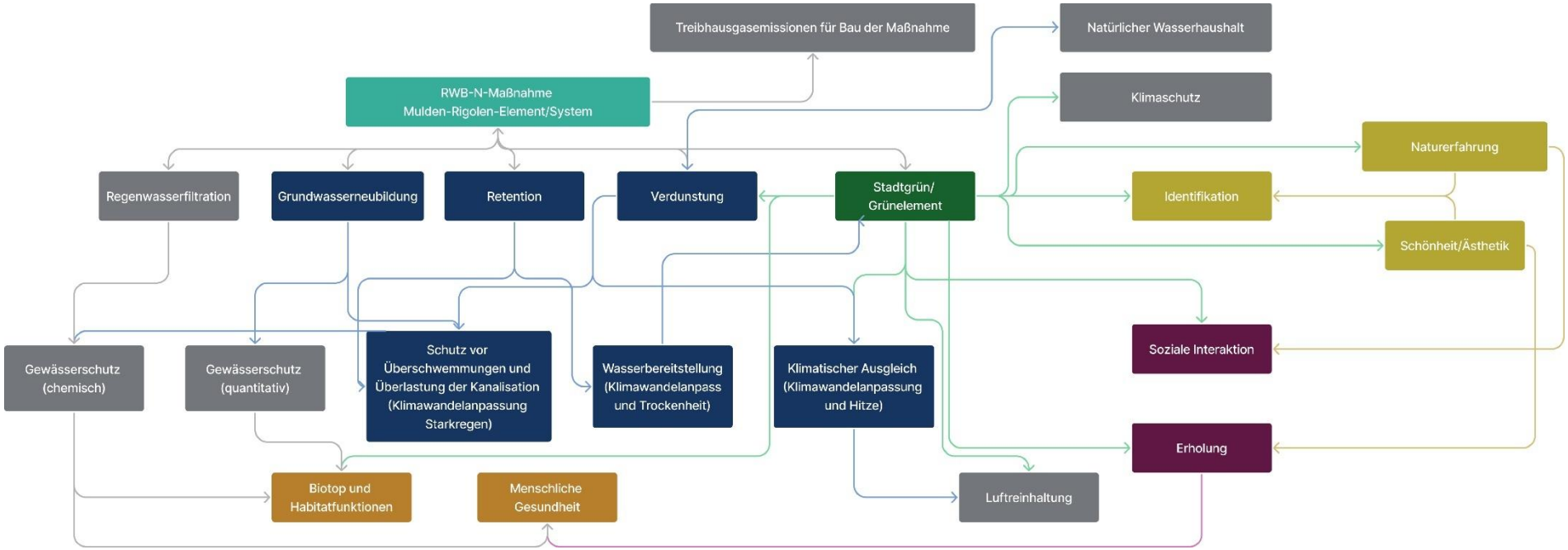


Quelle: Angelehnt an Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung (Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 2018)

Darstellung des Wirkungsgefüges

Mit den ausgewählten etwa 20 Funktionen wurde anschließend ein Wirkungsgefüge zur Darstellung der Wirkungszusammenhänge erstellt (siehe Abbildung 3). Die Kacheln orientieren sich farblich an den Funktionen aus Abbildung 2: Abiotische Funktionen in Grau (Ausnahme Wasserhaushalt in Blau), biotische Funktionen in Orange, Stadtgrün in Grün, kulturelle Funktionen in Gelb, Nutzungsfunktionen in Rosa. Das Wirkungsgefüge zeigt direkte und indirekte Funktionen und Wirkungen von RWB Maßnahmen. Die Zusammenhänge zwischen den Wirkungen werden mit Pfeilen dargestellt. Die RWB Maßnahmen unterscheiden sich durch unterschiedlich starke Wirkungen auf die verschiedenen Funktionen. Die Funktionen werden immer im Vergleich zur Variante ohne RWB Maßnahme bewertet, für die eine versiegelte Fläche angenommen wurde.

Abbildung 3: Wirkungsgefüge



Quelle: Ecologic Institut

Im Folgenden stellen wir kurz die Wirkungszusammenhänge zwischen den Funktionen vor:

Die grüne Kachel „**RWB-N Maßnahme Mulden-Rigolen-Element**“ steht beispielhaft für eine Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme, die im Projekt betrachtet wird. Die direkten Funktionen dieser Maßnahme sind mit einem Pfeil an die Kachel angeknüpft. Diese sind **Treibhausgasemissionen für Bau der Maßnahme, Regenwasserfiltration**, Auswirkungen auf den Wasserhaushalt (**Grundwasserneubildung, Retention und Verdunstung**) und **Stadtgrün/Grünelement.**

Die indirekten Funktionen und Wirkungen hängen von den direkten Funktionen ab. Zum Beispiel führt die **Regenwasserfiltration** zu einem chemischen Schutz der Gewässer **(Gewässerschutz (chemisch))** und die **Grundwasserneubildung** zu einem quantitativen Schutz der Gewässer **(Gewässerschutz (quantitativ))**. Beide Funktionen wirken sich wiederum positiv auf die **Biotop- und Habitatfunktionen** aus.

Grundwasserneubildung hat positive Auswirkungen auf den Überschwemmungsschutz und reduziert die Gefahr einer Überlastung der Kanalisation in urbanen Räumen mit Mischkanalisationen (**Schutz vor Überschwemmung und Überlastung der Kanalisation**). Dabei wird das Grundwasser aufgefüllt und es verbessert sich der quantitative Grundwasserzustand und der von angrenzenden grundwassergespeisten Oberflächengewässern (**Gewässerschutz (quantitativ)**). Wissenschaftlich belegt ist, dass bei Starkregenereignissen in urbanen, versiegelten Bereichen die Versickerungsrate häufig nicht zur Regenintensität mithalten kann. Hydraulische Entlastungswirkungen durch Versickerung sind in diesen Szenarien in der Regel gering (Ren et al., 2020). **Retention** hat bei den meisten RWB Maßnahmen die stärkste Auswirkung auf den **Schutz vor Überschwemmungen und Überlastung der Kanalisation**. Verdunstung und Versickerung finden weitgehend erst zeitlich verzögert zum Starkregenereignis statt. Erhöhter **Schutz vor Überschwemmungen und Überlastung der Kanalisation** hat positive Auswirkungen auf den chemischen Gewässerschutz (**Gewässerschutz (chemisch)**), indem weniger Schwermetalle, Salze, Arzneimittel und Nährstoffe in die Gewässer gelangt. Je nach Bauart der Maßnahme, kann das zurückgehaltene Wasser auch zur Bewässerung verwendet werden (**Wasserbereitstellung**), bspw. bei einer Zisterne, wie im Fall des weiter unten aufgeführten Beispiels. Dies führt zu einer Klimawandelanpassung bezüglich Trockenheit, denn mit dem Wasser können bei Trockenheit **Stadtgrün/Grünelemente** bewässert werden. Der **Schutz vor Überschwemmungen und Überlastung der Kanalisation** ist eine von drei Funktionen von RWB Maßnahmen, die für die Anpassung an den Klimawandel wichtig sind (hier Klimawandelanpassung Starkregen). Die anderen beiden Funktionen sind die **Wasserbereitstellung (Klimawandelanpassung Trockenheit)** und **Klimatischer Ausgleich (Klimawandelanpassung Hitze)** (blaue Kacheln). **Verdunstung** ist eine weitere direkte Funktion der Maßnahme, die sich auf verschiedene Aspekte des Wasserhaushalts auswirkt. Die Luft wird durch **Verdunstung** gekühlt und die Luftfeuchtigkeit erhöht sich, was zu einem **klimatischen Ausgleich** beiträgt und somit eine sehr wichtige Funktion in urbanen Räumen darstellt. **Verdunstung** hat außerdem positive Wirkungen auf den angestrebten **natürlichen Wasserhaushalt** (vgl. (LAWA, 2021)), da sie den Wasserkreislauf aufrechterhält und die Wolkenbildung fördert.

Stadtgrün/Grünelement ist eine direkte Funktion der Maßnahme, die sich auf verschiedene Aspekte der ökologischen, kulturell-gestalterischen und sozialen Funktionen auswirkt. **Stadtgrün/Grünelement** erhöht die **Verdunstung**, die den Wasserhaushalt und das Stadtklima beeinflusst. Es wirkt auch positiv auf die **Biotop- und Habitatfunktionen** für verschiedene Pflanzen- und Tierarten und fördert die Funktion **Klimatischer Ausgleich** bei, indem es die Lufttemperatur senkt und die Luftfeuchtigkeit erhöht. **Stadtgrün/Grünelement** verbessert

zusätzlich die **Luftreinhaltung**, indem es Schadstoffe filtert und Atemwegserkrankungen reduziert, fördert die **Erholung**, indem es einen Raum für Entspannung und Freizeit bietet und steigert die **Schönheit/Ästhetik** von urbanen Räumen, indem es Farbe, Form und Struktur hinzufügt. **Stadtgrün/Grünelement** unterstützt die **soziale Interaktion**, indem es einen Ort für Begegnung und Kommunikation schafft. **Naturerfahrung** wird ermöglicht, indem es den Kontakt mit der Natur erleichtert. Es stärkt die **Identifikation**, indem es das Gefühl der Zugehörigkeit und des Stolzes fördert. **Stadtgrün/Grünelement** leistet auch einen Beitrag zum **Klimaschutz**, indem es Kohlenstoff speichert und Treibhausgasemissionen reduziert. Die **menschliche Gesundheit** wird durch Funktionen **Luftreinhaltung** und **Erholung** positiv beeinflusst.

Diese Wirkungen sind nicht isoliert, sondern miteinander verknüpft, so dass sie sich gegenseitig verstärken oder abschwächen können. Zum Beispiel kann die **Schönheit/Ästhetik** des **Stadtgrüns/Grünelements** die **Identifikation** mit dem Ort erhöhen und die **Erholung** verbessern. Die **Naturerfahrung** kann auch die **Identifikation** stärken und die **soziale Interaktion** fördern.

Dieses Wirkungsgefüge wurde in den nächsten Schritten der sozioökonomischen Bewertung benutzt, um relevante Wirkungen und Nutzen der Maßnahmen zu identifizieren.

3 Multikriterielle Bewertung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen

3.1 Einleitung

Die Durchführung der Multikriterienanalyse in AMAREX hat zum Ziel, ein umfassendes Bewertungssystem für BGI-Maßnahmen zu entwickeln, welches umwelt-, soziale und ökonomische Aspekte berücksichtigt. Dabei finden neben wasserwirtschaftlichen Aspekten auch weitere Kriterien wie die Akzeptanz und Umsetzbarkeit von Maßnahmen sowie Kostenaspekte und Auswirkungen auf Umwelt und Wohlbefinden der Bevölkerung Berücksichtigung.

Im Folgenden werden die Methodik sowie das Vorgehen erläutert. Anschließend werden die Ergebnisse sowie ein Fazit präsentiert, das zentrale Erkenntnisse und Forschungsbedarf zusammenfasst.

3.2 Methodik und Vorgehen

Die Multikriterienanalyse (MKA) ist eine Methodik, die darauf ausgerichtet ist, die Lösung komplexer Entscheidungsprobleme zu unterstützen, bei denen mehrere (Ziel-)Kriterien berücksichtigt werden müssen. Sie ermöglicht die systematische Bewertung und den Vergleich verschiedener Optionen oder Maßnahmen anhand dieser Kriterien. Ziel ist es, eine Rangfolge oder die optimale Wahl unter den betrachteten Alternativen zu ermitteln, welche die unterschiedlichen Kriterien bestmöglich erfüllt. Ein Vorteil der MKA ist, dass sie quantitative und qualitative Bewertungen kombinieren kann. Die MKA findet Anwendung in vielfältigen Bereichen, wie der Umweltplanung, der Stadtentwicklung, dem Wasserressourcenmanagement, der Energieplanung und dem Projektmanagement, insbesondere wenn Entscheidungen unter Berücksichtigung von unterschiedlichsten ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten getroffen werden müssen.

Der erste Schritt für die MKA bestand darin, geeignete Kriterien im Kontext des Projekts zu recherchieren. Dies umfasste ein umfangreiches Literaturscreening von etwa 50 Papieren und Berichten, um relevante Kategorien und Indikatoren für die MKA zu identifizieren. Aus dieser Recherche wurden 14 Kriteriensets für eine vertiefte Analyse ausgewählt. Aus den 14 Kriteriensets wurden insgesamt mehr als 175 Einzelkriterien gewonnen (siehe Anhang 1). Diese Sammlung von Einzelkriterien wurde anschließend in fünf Kategorien geclustert: Anwendungskriterien, ökonomische-, soziale-, wasserbezogene- und weitere umweltbezogene Kriterien. Zunächst wurden insgesamt 24 Kriterien ausgewählt, die besonders relevant für die Betrachtung in AMAREX sind, dafür wurden Auswahlkriterien, wie ein starker Bezug zur lokalen Ebene, ein klarer Operationalisierungsansatz und ein Fokus auf urbane BGI, genutzt.

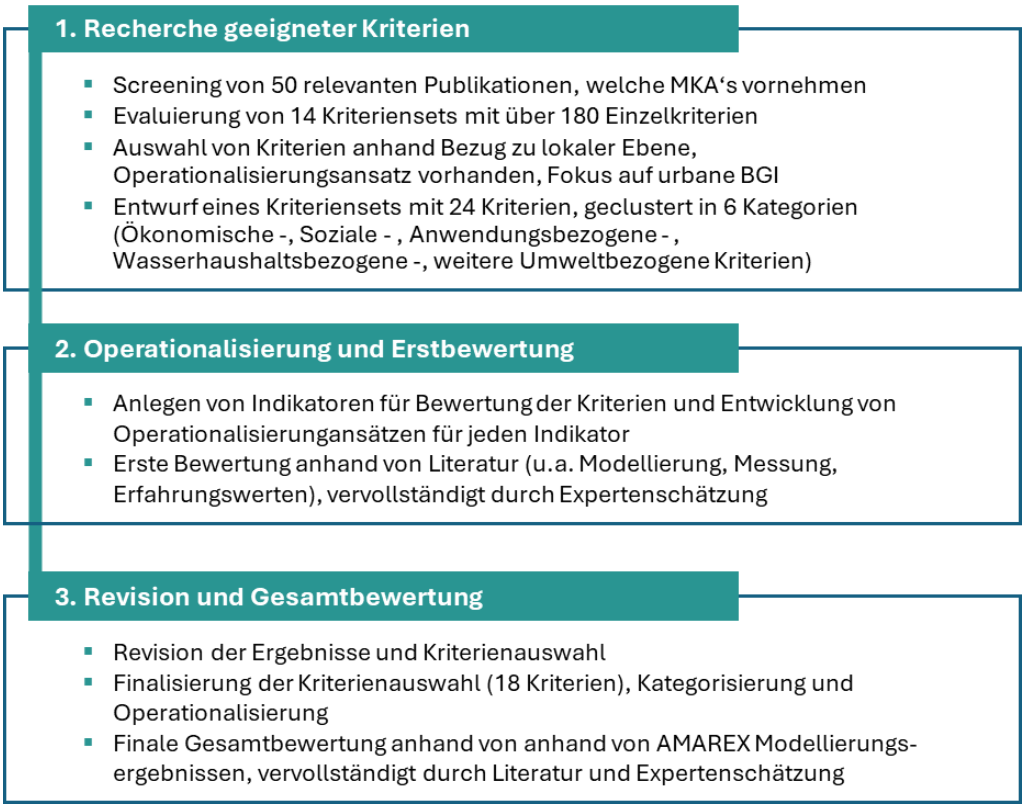


Abbildung 4: Analysevorgehen MKA

Quelle: Ecologic Institut

Im nächsten Schritt wurde eine detaillierte Bewertung der BGI-Maßnahmen vorgenommen. Hierfür wurden zunächst Definitionen beziehungsweise **Operationalisierungansätze für jedes Kriterium festgelegt**, die sich zum Großteil auf Definitionen stützen, welche in den vorherigen Recherchen identifiziert wurden. Es wurden für jedes Kriterium ein oder mehrere operationalisierbare Indikatoren für die Bewertung entwickelt. Für die Bewertung der Indikatoren wurden verschiedene Methoden genutzt. Als erstes wurde eine Literaturanalyse durchgeführt, um Informationen für die Bewertung zu recherchieren. Diese Literaturanalyse wurde durch Einschätzungen und Validierungen von Expertinnen und Experten ergänzt. Pro Kriterium und ggf. für die Sub-Indikatoren wurden Bewertungsskalen festgelegt (z.B. bei „Erholung“ wurde der Erholungseffekt von Maßnahmen auf einer 3-er Skala von gering bis hoch bewertet und jeweils Punkte verteilt (gering = 1; mittel = 2; hoch = 3) die zu einem Score führen. Die Scores wurden für jedes Kriterium auf eine 10er Skala umgerechnet bzw. normalisiert.

Im Anschluss an eine initiale Bewertung erfolgte eine **Bereinigung des Kriteriensets**. Dabei wurden Kriterien, die sich als redundant oder inadäquat hinsichtlich der Datenverfügbarkeit und Operationalisierbarkeit erwiesen, entfernt. So wurde das Kriterium "Verteilungseffekte" entfernt, da die analysierten Maßnahmen zu kleinteilig sind und es schwierig ist, deren Effekte korrekt, z.B. auf Quartiersebene, einzuschätzen. Ebenfalls gestrichen wurde das Kriterium "Synergien mit lokalen Umweltzielen", da eine generelle Analyse, die nicht lokalspezifisch ist, das Einbeziehen von variierenden lokalen Umweltzielen nicht erlaubt. Weiterhin wurde das Kriterium "Ökologische Konnektivität" aufgrund seiner Schwierigkeiten bei der Bewertung von kleinteiligen Maßnahmen entfernt, während stattdessen das Kriterium "Biodiversität & Habitatvielfalt" als relevanter und operationalisierbarer Indikator aufgenommen wurde. Das finale Kriterienset besteht aus 18 Kriterien. Abschließend wurden die Ergebnisse für das finale Kriterienset ausgewertet und auf Basis eines Gesamtscorings zusammengefasst, um eine Gesamtbilanz zu

ziehen. Dieser Prozess ermöglichte eine Bewertung der untersuchten Maßnahmen im Hinblick auf eine Vielzahl von Kriterien, die für eine umfassende Anpassung an klimawandelbedingte Extremwetterereignisse relevant sind. Zu beachten ist, dass bei dieser generellen Bewertung keine Gewichtung der Kriterien vorgenommen wurde und alle Kriterien mit gleicher Gewichtung in den Gesamtscore eingerechnet werden. Im lokalen Kontext kann die Gewichtung der unterschiedlichen Kriterien jedoch auf Basis der lokalen Strategien und Ziele bzw. des vorliegenden städtischen Bedarfs erfolgen.

3.2.1 Kriteriensets und Indikatoren

In der Multikriterienanalyse des Projektes wurden fünf Oberkategorien von Kriterien definiert, um die Maßnahmen zur blau-grünen Infrastruktur zu bewerten:

- **Ökonomische Kriterien:** Diese umfassen die Bewertung von Kosten und das Innovationspotenzial der Maßnahmen.
- **Soziale Kriterien:** Diese Kategorie bezieht sich auf das Stadtklima, Erholungsmöglichkeiten, die Akzeptanz in der Bevölkerung sowie die Flächenkonkurrenz, die durch die Maßnahmen beeinflusst werden könnte.
- **Anwendungsbezogene Kriterien:** Hier stehen die Umsetzbarkeit und Flexibilität zur Modifikation der Maßnahmen im Fokus, welche für die praktische Implementierung entscheidend sind.
- **Wasserbezogene Kriterien:** Diese beinhalten die Regenwasserfiltration, den Schutz vor Überschwemmungen, den Wasserrückhalt, die Versickerung, die Verdunstung sowie die Synergien, die sich aus Wirkungen bei Starkregen- und Trockenheitsereignissen ergeben.
- **Weitere umweltbezogene Kriterien:** Dazu zählen der Lärmschutz, die Biodiversität und Habitatvielfalt, die Luftreinhaltung sowie Treibhausgas Emissionen im Bau, die wesentliche Aspekte der Umweltauswirkungen neben wasserbezogenen Kriterien von BGI-Maßnahmen darstellen.

Details zu den Definitionen der Kriterien und den genutzten Indikatoren sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht über Kriterien und Indikatoren

Kategorie	Kriterium	Indikator(en)	Definition
Ökonomische Kriterien	Kosten	Investitionskosten	Die bei einer Investition getätigten Ausgaben zum Anlegen der Maßnahme
		Betriebs- & Instandhaltungskosten	Die Kosten die während des Betriebs und zur Instandhaltung der Maßnahme pro Jahr anfallen
	Innovationspotenzial	Innovationspotenzial	Nutzung und Förderung von neuen Technologien und Maßnahmendesigns
Soziale Kriterien	Stadtklima	Beschattung	Die Maßnahme verbessert das Stadtklima durch Abkühlung der Lufttemperatur durch Verdunstung und die Erhöhung des Komforts durch Beschattung mit positivem Effekt auf Gesundheit und Wohlbefinden
		Verdunstung	
	Erholung	Erholungseffekt	Maßnahme erhöht Wohlbefinden und Erholung durch grüneres Erscheinungsbild der Umgebung und einen ästhetisch ansprechenden, naturnahen Straßenraum
	Akzeptanz	Eingriffstiefe	Die Maßnahme erfordert Eingriffe in die bestehende Infrastruktur, z.B. längere oder tiefgreifendere Baumaßnahmen
		Relevanz	Die Maßnahme hat aus Sicht der Bürger:innen direkt wahrnehmbare Sichtbarkeit und Relevanz
		Nebeneffekte	Aus der Maßnahme ergeben sich weitere positive Nebeneffekte für die Bevölkerung
	Flächenkonkurrenz	Flächenbedarf	Beanspruchung der Maßnahme von anderweitig benutzten Flächen (z.B. Parkraum, Straßenraum, Innenhöfe) führt zu Flächenkonkurrenz
Anwendungsbezogene Kriterien	Umsetzbarkeit	Technische Umsetzbarkeit	Erprobtheit der Maßnahme und Einfachheit der technischen Umsetzung
		Rechtliche Aspekte, Planungs- & Genehmigungsprozesse	Komplexität der Planungs- und Genehmigungsprozesse für die Maßnahme, Vorliegen von etablierten rechtlichen Prozeduren und technischen Normen
	Flexibilität	Flexibilität	Die Maßnahme kann mit geringen Kosten modifiziert werden und so flexibel an die Stärke des Klimawandels angepasst werden
Wasserbezogene Kriterien	Überflutungsschutz	Überlauf	Potenzial der Maßnahme Überflutung zu reduzieren, gemessen am Überlauf
	Gewässerschutz	Abschlagvermeidung (=Überlauf)	Potenzial der Maßnahme zum Schutz von Wasserkörpern beizutragen, einerseits durch Abschlagvermeidung (Oberflächengewässern, Indikator = Überlauf, s.o.) sowie der Abfiltrierung von Feststoffen (Grundwasser)
		Abfiltrierung von Feststoffen	

	Wasserspeicherung	Wasserspeicherung	Potenzial der Maßnahme Wasser für Bewässerungszwecke rückzuhalten
	Versickerung	Änderung des Versickerungsanteils	Potenzial der Maßnahme Wasser zu versickern (im Vergleich zu den Größen Abfluss und Verdunstung)
	Verdunstung	Änderung des Verdunstungsanteils	Potenzial der Maßnahme Wasser zu verdunsten (im Vergleich zu den Größen Abfluss und Versickerung)
Weitere umweltbezogene Kriterien	Lärmreduktion	Lärmreduktion	Potenzial der Maßnahme lärmreduzierend zu wirken
	Biodiversität und Habitatvielfalt	Biodiversität und Habitatvielfalt	Maßnahme trägt zur Lebensraumvielfalt bei und fördert die Biodiversität im Straßenraum
	Luftreinhaltung	Luftreinhaltung	Potenzial der Maßnahme der Luft Schadstoffe und Feinstaub zu entnehmen und abzubauen und die Luft zu filtern
	Klimawirkung	Treibhausgasemissionen im Bau	Bewertet die Emissionshöhe von Treibhausgasemissionen, die bei dem Bau der Anlage, u.a. Herstellung der eingesetzten Systeme und ihrem Einbau, entstehen
Synergien	Synergien Starkregen-Trockenheit	Überflutungsschutz – Überlauf Wasserspeicherung	Potenzial der Maßnahme bei Starkregenereignissen Wasser einzustauen und den Abfluss ins Abwassersystem zu drosseln als auch für Trockenperioden Wasser für Bewässerungszwecke rückzuhalten. Zusammengesetzt aus den Indikatoren Überlauf und Wasserspeicherung

3.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse für jedes Kriterium erläutert. Im Anschluss werden die Gesamtergebnisse diskutiert und auf Einschränkungen der Analyse eingegangen. Vorweg ist zu erwähnen, dass die Bewertung der BGI-Maßnahmen durch Unterschiede in der Datenverfügbarkeit und -qualität beeinflusst wurde – insbesondere bei weniger dokumentierten oder neuen Maßnahmen – wodurch teils Schätzungen basierend auf den vorhandenen Größen erforderlich waren. Zudem erschweren die starke Lokalspezifität der Maßnahmen, die Skalierungseffekte sowie die Annahme einer versiegelten Fläche als Vergleichsbasis die Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche städtische Kontexte.

3.3.1 Ökonomische Kriterien

Tabelle 2: Bewertungsübersicht ökonomische Kriterien

	Kostengünstig	Innovationspotenzial	Ökonomische Kriterien Durchschnitt
RWB Versickerungsmulde	10	1	6
RWB+ Versickerungsmulde+	8	6	7
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	3	10	7
RWB Rigole	7	1	4
RWB+ Versickerungsrigole+	6	6	6
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	3	10	7
RWB Mulden-Rigolen-Element	5	1	3
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	4	6	5
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	2	10	6
RWB Optimierter Baumstandort	6	1	4
RWB+ Baumrigole	3	6	5
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	2	10	6
RWB Extensives Gründach	9	1	5
RWB+ Intensives Gründach	4	1	3
RWB+ Retentionsdach	7	6	7
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	3	10	7
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	2	10	6
RWB Zisterne	3	1	2
RWB+ Smarte Retentionszisterne	1	10	6
RWB-N Smarte Retentionszisterne	1	10	6

Kosten

Unter den ökonomischen Kriterien wurden Kosten, zusammengesetzt aus Investitionskosten sowie Betriebs- und Instandhaltungskosten, und das Innovationspotenzial der Maßnahmen bewertet. Dabei wird deutlich, dass die Kosten der RWB Maßnahmen im Vergleich zu den jeweiligen RWB+ und RWB-N Ausprägungen der Maßnahmen besser abschneiden, was daran liegt, dass sie kleiner dimensioniert sind und/oder aus weniger Elementen bestehen und somit in der Anschaffung und

dem Unterhalt günstiger sind. Insgesamt *sind RWB Versickerungsmulden*, *RWB+ Versickerungsmulden+* und *RWB extensive Gründächer* die günstigsten Maßnahmen und erzielen entsprechend hohe Scores, während Zisternen und kombinierte Maßnahmen, die Zisternen als zusätzliches Element enthalten, hohe Kosten verursachen. Spezielle smarte Zisternen sind durch ihre informationstechnischen Bestandteile und deren Anschaffungs- und Instandhaltungskosten teuer. Zu beachten ist, dass Kosten stark von lokalen Gegebenheiten abhängen können.

Innovationspotenzial

Während bei den Kosten die RWB-N Maßnahmen geringere Scores erzielen, ist dies beim Innovationspotential umgekehrt. Das Kriterium „Innovationspotential“ bewertet, ob eine Maßnahme die Nutzung von neuen Technologien und die Anwendung von innovativen Maßnahmendesigns fördert. Dort schneiden die RWB Maßnahmen, welche in der Regel erprobt und bereits verbreitet angewandt sind, gering ab, während RWB+ Maßnahmen mittlere Scores und RWB-N Maßnahmen hohe Scores erzielen. Dies beruht darauf, dass Kombinationsmaßnahmen wie die RWB-N Maßnahmen innovativer und damit noch weniger erprobt sind.

Gesamtbewertung ökonomische Kriterien

In der Summe ergibt sich für die zwei ökonomischen Kriterien, dass die Maßnahmen, welche Zisternen als Element haben mit am besten abschneiden, da sie jeweils hohe Punktzahl für ihr Innovationspotenzial erzielen, welches in dieser Kategorie stark ins Gewicht fällt. So schneiden die RWB Maßnahmen zwar bei den Kosten mit hohen Scores ab, durch ein geringes Innovationspotenzial liegen sie aber in der Regel eher im Mittelfeld beziehungsweise im unteren Spektrum bei der Gesamtbewertung der ökonomischen Kriterien. Die höchsten Scores erreichen Versickerungsmulden+, Versickerungsmulde mit (Retentions-) Zisterne, Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne sowie Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne und Retentionsdächer, Gründächer mit (Retentions-) Zisterne und Retentionsdächer mit Zisterne. Zisternen alleinstehend hingegen schneiden wegen ihrer hohen Kosten und geringem Innovationspotenzial jedoch mit den geringsten Scores ab.

3.3.2 Soziale Kriterien

Tabelle 3: Bewertungsübersicht soziale Kriterien

	Stadtklima	Erholung	Akzeptanz	Flächenkonkurrenz	Soziale Kriterien Durchschnitt
RWB Versickerungsmulde	2	1	6	7	4
RWB+ Versickerungsmulde+	2	1	5	4	3
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	7	6	5	6	6
RWB Rigole	1	1	3	9	4
RWB+ Versickerungsrigole+	1	1	3	8	3
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	6	6	1	7	5
RWB Mulden-Rigolen-Element	1	1	5	8	4
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	2	1	3	6	3
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	6	6	3	6	5
RWB Optimierter Baumstandort	6	6	10	1	6
RWB+ Baumrigole	6	6	8	3	6
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	10	10	6	8	9
RWB Extensives Gründach	3	1	8	10	6
RWB+ Intensives Gründach	6	10	8	10	9
RWB+ Retentionsdach	4	1	8	10	6
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	8	6	6	8	7
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	9	6	6	6	7
RWB Zisterne	6	6	3	9	6
RWB+ Smarte Retentionszisterne	6	6	1	8	5
RWB-N Smarte Retentionszisterne	8	6	1	9	6

Stadtklima

Für die Bewertung des Kriteriums *Stadtklima* wurden zwei Indikatoren herangezogen: **Beschattung** und **Verdunstung**. Es ist zu beachten, dass eine einzelne Maßnahme kaum bzw. nur geringe Auswirkungen auf das Stadtklima hat. Während einzelne Bäume durch Beschattungswirkungen direkte Auswirkungen auf das Mikroklima haben, ist eine Auswirkung auf das Mesoklima eher durch mehrere bzw. größere und zusammenhängende Grünflächen zu erreichen (Kellou et al., 2024).

Die Bewertung der **Beschattung** erfolgte anhand einer Skala, die verschiedene BGI-Maßnahmen hinsichtlich ihres Potenzials zur Verschattung unterscheidet. Grasflächen, wie sie in *Mulden* oder auf *extensiven Gründächern* vorkommen, wurden als nicht beschattungswirksam eingestuft. Maßnahmen, die Bäume enthalten, erhielten eine mittlere Bewertung. Darüber hinaus wurden für Maßnahmen mit Wasserspeicherungselementen (*RWB-N*) zusätzliche Punkte für ihren indirekten Beitrag zur Beschattung vergeben. Die Annahme dabei ist, dass durch Bewässerung des Stadtgrüns, insbesondere von Bäumen, das Wachstum gefördert und somit langfristig eine stärkere und resilientere Beschattung auch während Trockenphasen erreicht wird.

Die Bewertung der **Verdunstung** basierte auf den Ergebnissen der AMAREX Projektmodellierungen. Hierbei zeigte sich, dass Maßnahmen der Kategorien *RWB* und *RWB+* tendenziell niedrigere Scores erzielten, während *RWB-N*-Maßnahmen insgesamt bessere Werte aufweisen. Dies ist insbesondere auf den indirekten Effekt der Wasserspeicherungselemente (*RWB-N*) zurückzuführen, da diese zur Bewässerung von Stadtgrün beitragen und dadurch sowohl eine erhöhte Verdunstung

als auch eine verstärkte Beschattung bewirken (Bewässerung kann zu besserem Wachstum führen).

Die aggregierten Gesamt-Scores für das Kriterium Stadtklima zeigen, dass die Maßnahmen *Versickerungsmulde(+)*, *(Versickerungs-)Rigole (+)*, *Mulden-Rigolen-Element (+)*, *Extensives Gründach* und *Retentionsdach* die niedrigsten Werte (≤4) aufweisen. Im mittleren Bewertungsbereich mit einem Score von 6-7 befinden sich die *RWB-N*-Maßnahmen *Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne*, *Speicherrigole als Zisterne* und *Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne* sowie die Maßnahmen *Optimierter Baumstandort* und *Baumrigole*. Während letztere hohe Werte im Bereich Beschattung erzielen, sind ihre Verdunstungswerte gering.

Ebenfalls mit einem Score von 6 bewertet wurden das *Intensive Gründach (RWB+)* sowie die Maßnahmen *RWB-Zisterne* und *RWB+ Zisterne*, da sie durch indirekte Bewässerungseffekte mittlere Werte bei der Beschattung erreichen und die Verdunstungsleistung ebenfalls im Mittelfeld liegt.

Die höchsten Scores wurden für den *Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne (RWB-N)* ermittelt, der mit der höchsten Bewertung im Bereich Beschattung sowie einem im oberen Mittelfeld liegenden Wert für Verdunstung insgesamt am besten abschneidet. Auch die *RWB-N*-Maßnahmen *Gründach mit (Retentions-)Zisterne* und *Retentionsdach mit Zisterne* erreichen hohe Werte (8 bzw. 9 Punkte), da sie die besten Verdunstungswerte erzielen, während die indirekten Beschattungseffekte im unteren Mittelfeld liegen. Schließlich zeigt auch die *RWB-N Smarte Retentionszisterne* mit jeweils oberen Mittelfeldwerten für beide Indikatoren ein insgesamt hohes Ergebnis von 8 Punkten.

Erholung

Das Kriterium *Erholung* bewertet den Beitrag von Maßnahmen zur Steigerung des Wohlbefindens und der Erholung im urbanen Raum. Der zugrunde liegende Indikator fokussiert auf die Schaffung eines grüneren Erscheinungsbildes sowie eines ästhetisch ansprechenden, naturnahen Straßenraums, der das allgemeine Wohlbefinden fördert.

Die Ergebnisse zeigen, dass Maßnahmen mit geringfügiger Begrünung oder mit schwer zugänglichem Grün, wie die *Versickerungsmulde*, die *(Versickerungs-)Rigole* und das *Extensive Gründach*, die niedrigsten Scores (1 Punkt) erreichen. Diese Maßnahmen bieten nur geringe Erholungseffekte, da einfache und kleinteiligere Grünflächen oder nicht sichtbare Elemente wenig zur wahrgenommenen Qualität des öffentlichen Raums beitragen.

Im mittleren Bereich (Score: 5,5) befinden sich Maßnahmen, die durch Wasserspeicherung die Bewässerung umliegender Grünflächen ermöglichen und so indirekt die Erholung fördern. Dazu zählen die *Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne*, die *Speicherrigole als Zisterne* sowie das *Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne*. Auch der *Optimierte Baumstandort* und die *Baumrigole* erreichen einen mittleren Score, da sie durch Begrünung zur Aufenthaltsqualität beitragen.

Maßnahmen wie der *Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne* erzielen mit 10 Punkten die höchsten Werte, da sie sowohl durch ihre ausgeprägte Begrünung als auch durch die direkte Bewässerung umliegender Grünflächen eine deutlich wahrnehmbare Erholungswirkung entfalten. Ebenso schneiden Maßnahmen wie das *Intensive Gründach* und das *Retentionsdach mit Zisterne (RWB-N)* mit 10 Punkten ab, da sie durch umfassende Begrünung und eine hohe Aufenthaltsqualität überzeugen.

Maßnahmen der Kategorie *Smarte Retentionszisterne (RWB-N)* erreichen mit 5,5 Punkten mittlere Werte, da sie sowohl für die Bewässerung von Stadtgrün genutzt werden können als auch indirekte Erholungseffekte erzielen.

Akzeptanz

Das Kriterium *Akzeptanz* umfasst drei Indikatoren: **Eingriffstiefe**, **Relevanz** und **Nebeneffekte**. Ziel ist es, die gesellschaftliche und infrastrukturelle Akzeptanz von Maßnahmen zu bewerten. Dabei ist zu beachten, dass die Akzeptanz nur begrenzt generell und ortsunabhängig bewertet werden kann da sie stark von den konkreten Gegebenheiten und Umständen vor Ort sowie durchgeführten Beteiligungs- und Informationsmaßnahmen abhängig ist.

Die **Eingriffstiefe** beurteilt, wie stark eine Maßnahme in die bestehende Infrastruktur eingreift (bspw. längere Baustellen, Störungen, Straßensperrungen notwendig). Maßnahmen, die kleinere Eingriffe erfordern, wie die *Versickerungsmulde* und das *Extensive Gründach*, erzielen die höchsten Werte (10 Punkte). Maßnahmen mit mittlerem Eingriffsbedarf, wie die *Baumrigole* oder die *Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne*, erhalten 5,5 Punkte. Dagegen schneiden Maßnahmen mit tiefgreifenden Eingriffen, wie die *Mulden-Speicherrigolen-Elemente mit Zisterne*, mit geringen Scores ab (1 Punkt), da diese einen hohen Bauaufwand und potenzielle Einschränkungen während der Bauphase mit sich bringen.

Der Indikator **Relevanz** bewertet die wahrnehmbare Sichtbarkeit und Bedeutung der Maßnahmen aus Sicht der Bevölkerung. Maßnahmen, die klar sichtbare Begrünung schaffen, wie die Maßnahmen mit Baum, erzielen hier die besten Ergebnisse (10 Punkte). Maßnahmen mit mittlerer Sichtbarkeit, wie die verschiedenen Gründächer und Maßnahmen mit Mulden, werden mit 5,5 Punkten bewertet. Wenig sichtbare Maßnahmen, wie die ausschließlich unterirdischen *Rigolen* und smarten Zisternen schneiden mit 1 Punkt mit einem sehr geringen Score ab, da sie kaum wahrnehmbaren Mehrwert für die Bevölkerung bieten. Die Maßnahme RWB Zisterne erhält einen mittleren Score da ihre bereits weite Verbreitung und Anwendung die Anerkennung ihrer Relevanz bei der Bevölkerung verdeutlich.

Der dritte Indikator, **Nebeneffekte**, betrachtet die positiven Begleiterscheinungen der Maßnahmen, welche seitens der Bevölkerung am meisten wahrgenommen werden. Maßnahmen mit Baum sowie die *Gründächer* erzielen mit 10 Punkten die höchsten Werte, da sie zusätzliche Vorteile wie Gebäudekühlung oder die Schaffung nutzbarer bzw. ästhetischer Grünflächen bieten. Maßnahmen mit negativen Nebeneffekten, wie dem Wegfall größerer Flächen, die anderweitig genutzt werden könnten – beispielsweise als Parkraum für Anwohner:innen – erhalten im Bereich Nebeneffekte die niedrigsten Bewertungen. Dies betrifft insbesondere die oberirdischen, großflächigen RWB+-Maßnahmen wie die *Versickerungsmulde+* und das *Mulden-Rigolen-Element+*.

Die aggregierten Werte für das Kriterium Akzeptanz zeigen, dass Maßnahmen mit hoher Sichtbarkeit, geringem bis mittlerem Eingriffsbedarf und positiven Nebeneffekten, wie die Maßnahmen mit Bäumen und die Gründächer ohne Speicherelemente, die höchsten Gesamt-Scores (8-10) erzielen. Maßnahmen im Mittelfeld schneiden entweder bei allen Indikatoren mit mittlerer Bewertung ab wie die *RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne*, oder erreichen verschiedene Scorings bei den drei Indikatoren, welche insgesamt ein mittleres Gesamtscoring ergeben (die *RWB und RWB+ Versickerungsmulden* sowie das *RWB Mulden-Rigolen-Element*, der *RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne*, das *RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne* und das *RWB-N Retentionsdach mit Zisterne).* Die Zisternen sowie die Rigolen als auch das *RWB+ Mulden-Rigolen-Element+* und das *RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne* erzielen Scores von 1 bis 3, bedingt durch tieferen Eingriffsbedarf während die Relevanz für die

Bevölkerung oft nicht direkt im Straßenbild sichtbar wird und auch keine positiven Nebeneffekte empfunden werden.

Flächenkonkurrenz

Das Kriterium Flächenkonkurrenz wird mit dem Indikator Flächenbedarf gemessen. Dabei wird geprüft, welche Fläche die jeweilige Maßnahme in Anspruch nimmt, um die gleiche Menge an Regenwasser zu kappen bei einem 5-Jahres Regen (RWB Dimensionierung) und einem 100-Jahres Regen (RWB+ Maßnahmen). Die Ergebnisse basieren auf den 10 Jahres Projektmodellierungen für die Städte Köln und Berlin. Die Flächenkonkurrenz kann ebenfalls Ortsabhängig stark abweichen. Es ist zu beachten das Flächenkonkurrenz oberhalb des Straßenlevels hier außer Acht gelassen werde.

Am besten schneiden dabei mit einem Scoring von 8 bis 10 die Maßnahmen *RWB Rigole, RWB+ Versickerungsrigole+, RWB Mulden-Rigolen-Element*, *RWB-N Baumstandort mit (retentions-)Zisterne, das RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne* sowie die Gründächer ohne Speicherelement und die Zisternen ab, da sie platzeffizient den Regen zurückhalten und/oder teilweise oberhalb des Straßenraums liegen und somit keine oder nur geringe Flächenkonkurrenz zu beispielsweise Parkplätzen darstellen.

Die *RWB Versickerungsmulde,* das *RWB+ Mulden-Rigolen-Element+* sowie die RWB-N Maßnahmen *Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne*, *Speicherrigole als Zisterne, Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne, RWB-N Retentionsdach mit Zisterne* schneiden mittelmäßig ab (Scoring zwischen 6-7), da neben dem Flächenbedarf für die Maßnahme selbst häufig noch geringfügig Fläche für das Speicherelement benötigt werden (bei RWB-N) wodurch die Maßnahmen im Scoring im Mittelfeld landen.

Im unteren Mittelfeld (4) liegen die RWB+ Versickerungsmulde und mit geringsten Scores schneiden die Maßnahmen *RWB Optimierter Baumstandort sowie die RWB+ Baumrigole*, da die Anzahl bzw. der Flächenbedarf an Bäumen modelliert wird, um die gesetzte Regenmenge zu kappen. Dafür wird vor allem bei diesen Maßnahmen eine sehr hohe Anzahl, und damit große Fläche, an Bäumen benötigt.

Gesamtbewertung soziale Kriterien

Insgesamt zeigt sich, dass die Maßnahmen mit Speicherelementen häufig etwas besser abschneiden als die Maßnahmen ohne Speicherelement, bedingt durch hohe Scores beim Stadtklima und der Akzeptanz. Die RWB+ und RWB-N Maßnahmen erreichen oft geringere Scores im Bereich Flächenkonkurrenz im Vergleich zu den herkömmlichen RWB Maßnahmen. Durch hohe Scores im Bereich Erholung und mittlere bis hohe Score im Bereich Flächenkonkurrenz und Stadtklima schneiden der *RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne* und das *RWB+ Intensives Gründach* bei den sozialen Kriterien insgesamt am besten ab. Am unteren Ende bewegen sich die *RWB+ Versickerungsmulde+* da sie bei allen sozialen Kriterien geringe bzw. maximal mittlere Score erzielt. Auch die *RWB Rigole* sowie die *RWB+ Versickerungsrigole* und das *RWB+ Mulden-Rigolen-Element* erzielen im Durchschnitt geringe Scores durch überwiegend niedrige Scores bei den vier Kriterien. Alle anderen Maßnahmen bewegen sich im Mittelfeld.

3.3.3 Anwendungsbezogene Kriterien

Tabelle 4: Bewertungsübersicht Anwendungsbezogene Kriterien

	Umsetzbarkeit	Flexibilität	Anwendungsbezogene Kriterien Durchschnitt
RWB Versickerungsmulde	10	10	10
RWB+ Versickerungsmulde+	9	10	10
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	8	10	9
RWB Rigole	3	1	2
RWB+ Versickerungsrigole+	2	1	2
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	1	1	1
RWB Mulden-Rigolen-Element	8	1	5
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	7	1	4
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	6	1	4
RWB Optimierter Baumstandort	10	1	6
RWB+ Baumrigole	8	1	5
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	7	1	4
RWB Extensives Gründach	8	6	7
RWB+ Intensives Gründach	7	6	7
RWB+ Retentionsdach	7	6	7
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	7	6	7
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	7	6	7
RWB Zisterne	10	1	6
RWB+ Smarte Retentionszisterne	6	1	4
RWB-N Smarte Retentionszisterne	6	1	4

Umsetzbarkeit

Das Kriterium *Umsetzbarkeit* setzt sich aus zwei Indikatoren zusammen: **Technische Umsetzbarkeit** und **Planungs- und Genehmigungsprozesse**. Der erste Indikator bewertet die Erprobtheit und Einfachheit der technischen Umsetzung sowie Standorteignung, während der zweite die Komplexität rechtlicher und genehmigungstechnischer Abläufe berücksichtigt.

Maßnahmen, die einfach technisch umsetzbar sind, bestehen aus nur einem Element und sind vielseitig erprobt. So erreichen die *Versickerungsmulde* (RWB und RWB+), der *RWB optimierte Baumstandort* und die *RWB Zisterne* mit 8-10 Punkten hohe Bewertungen bei der **technischen Umsetzbarkeit**. Maßnahmen, die aus mehreren Elementen bestehen und größere Flächen einnehmen erhalten geringere Scores. So bewegen sich die *RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne,* die *RWB Rigole,* das *RWB Mulden-Rigolen-Element* sowie die *RWB+ Baumrigole* und das *RWB Extensives Gründach* im oberen-mittleren Bereich mit einem Score von 6. Mit geringsten Scores (1 Punkt) schneiden die *smarten Zisternen* ab, da diese noch erprobt werden müssen sowie die *RWB-N Speicherrigole als Zisterne*, da diese nachträglich verdichtet werden muss, was technisch schwierig in der Umsetzung ist. Die restlichen Maßnahmen (v.a. Gründächer und RWB+ Maßnahmen) bewegen sich mit Scores von 3 im unteren Mittelfeld.

Maßnahmen mit etablierten und unkomplizierten **Planungs- und Genehmigungsprozessen** erzielen hohe Scores (10). Dies trifft auf alle Maßnahmen außer die Rigolen zu, da ein direktes, ungefiltertes Einleiten von Wasser vor allem von Straßen oder Parkplätzen sowie belasteten Dächern problematisch ist. Dies kann Genehmigungsprozesse erschweren und zusätzliche Filtrierung notwendig machen. Somit erhalten die Rigolen einen Score von 1. Bei den Zisternen sind standardmäßig Filter eingebaut, in Mulden findet ebenfalls eine natürliche Filterung statt.

Im Gesamtbild ergibt sich, dass die RWB Maßnahmen *Versickerungsmulde, Optimierter Baumstandort und Zisterne* mit einem Gesamtscore von je 10 die höchste Bewertung erreichen, da sie sowohl technisch einfach umzusetzen sind als auch unproblematische Genehmigungsverfahren aufweisen. Die verschiedenen Mulden weisen alle Scorings zwischen 8 und 10 auf, während die Rigolen – bedingt durch das niedrige Scoring bei den Genehmigungsprozessen – die niedrigsten Punkte erzielen (zwischen 1-3). Die übrigen Maßnahmen befinden sich mit Gesamtscores zwischen 6 und 7 im oberen Mittelfeld. Während sie durchweg hohe Bewertungen bei den Planungs- und Genehmigungsprozessen erzielen, variieren die Scores für die technische Umsetzbarkeit zwischen mittel und schwierig.

Flexibilität

Das Kriterium *Flexibilität* bewertet, inwieweit eine Maßnahme mit vergleichsweise geringen Kosten modifiziert werden kann, um flexibel auf die Intensität des Klimawandels zu reagieren.

Oberirdische Maßnahmen wie die *Versickerungsmulde* und die *Versickerungsmulde+* mit 10 Punkten erzielen die höchsten Scores. Diese Maßnahmen sind einfach und kosteneffizient anpassbar, solange ausreichend Raum zur Verfügung steht, um das Volumen zu erweitern. Auch die *Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne* (RWB-N) erreicht mit 10 Punkten eine hohe Bewertung, da sie ähnliche Anpassungsmöglichkeiten bietet.

Im mittleren Bereich (5,5 Punkte) liegen Maßnahmen wie das *Intensive Gründach* und das *Retentionsdach mit Zisterne (RWB-N)*. Diese Maßnahmen können nachgerüstet werden, sind jedoch durch die vorhandene Dachkapazität begrenzt. Ebenso erhält das *Gründach mit (Retentions-)Zisterne* (RWB-N) einen mittleren Score, da die Modifikationsmöglichkeiten ebenfalls von der Kapazität des Dachs sowie der unterirdischen Zisterne abhängen.

Unterirdische Maßnahmen wie die *Rigole*, die *Speicherrigole als Zisterne* und das *Mulden-Rigolen-Element* sowie die (smarten) Zisternen schneiden mit geringsten Scores ab (1 Punkt). Diese Maßnahmen sind aufgrund ihres Aufwands und der hohen Kosten für nachträgliche Anpassungen wenig flexibel.

Gesamtbewertung anwendungsbezogene Kriterien

In der Gesamtbewertung der anwendungsbezogenen Kriterien fällt das Kriterium Flexibilität deutlich ins Gewicht, da es hier nur drei Scores gibt und keine Zwischenabstufungen. Dadurch erreichen die Mulden, welche am einfachsten nachträglich anzupassen sind, die insgesamt höchsten Scores in der Gesamtwertung. Sie sind zudem auch leicht umsetzbar. Die verschiedenen Rigolen hingegen erreichen den geringsten Durchschnitt, da sie in der Umsetzung als auch in der Flexibilität bedingt durch die Tatsache, dass sie unterirdisch sind, nur wenige Punkte in beiden Kriterien erreichen. Die Gründächer bewegen sich im oberen Mittelfeld durch mittlere bis hohe Werte bei beiden Kriterien während die smarten Zisternen durch Inflexibilität und bedingt erprobte Umsetzbarkeit im unteren Mittelfeld landen, gemeinsam mit den Mulden-Rigolen-Elementen sowie der *RWB+ Baumrigole* und dem *RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne*. Letztere sind ebenfalls nicht flexibel anpassbar und erreichen bei der Umsetzbarkeit Werte „nur“ im oberen Mittelfeld, wodurch sie insgesamt nur Scores im unteren Mittelfeld erzielen.

3.3.4 Wasserhaushaltskriterien

Tabelle 5: Bewertungsübersicht Wasserhaushaltskriterien

	Überflutungsschutz	Gewässerschutz	Wasserspeicherung	Versickerung	Verdunstung	Wasserbezogene Kriterien Durchschnitt
RWB Versickerungsmulde	8	9	1	9	2	6
RWB+ Versickerungsmulde+	9	9	1	9	2	6
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	6	7	9	9	7	8
RWB Rigole	8	6	1	10	1	5
RWB+ Versickerungsrigole+	9	6	1	10	1	5
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	1	1	8	3	6	4
RWB Mulden-Rigolen-Element	8	9	1	10	1	6
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	10	10	1	9	2	6
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	6	7	8	3	6	6
RWB Optimierter Baumstandort	6	1	1	10	3	4
RWB+ Baumrigole	6	1	1	10	2	4
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	6	4	9	10	6	7
RWB Extensives Gründach	8	9	1	1	4	5
RWB+ Intensives Gründach	10	10	1	1	6	6
RWB+ Retentionsdach	10	10	1	1	5	5
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	5	7	4	3	9	6
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	6	7	2	3	10	6
RWB Zisterne	2	2	9	3	6	4
RWB+ Smarte Retentionszisterne	8	6	10	3	6	7
RWB-N Smarte Retentionszisterne	2	2	10	3	6	5

Die Bewertung der Wasserhaushaltskriterien basiert auf 10-Jahres-Simulationen für die Städte Berlin und Köln. Dabei ist zu beachten, dass die Ergebnisse standortabhängig variieren können und nur bedingt generell übertragbar sind durch Unterschiede in Topografie, Bodenbeschaffenheit, Versickerungsfähigkeit und des Klimas vor Ort. In den Modellierungen wird angenommen, dass das Wasser über Dachflächen abfließt. So wird hauptsächlich dieses abgeleitete Wasser den Maßnahmen zugeführt.

Überflutungsschutz

Der Überflutungsschutz einer Maßnahme wurde anhand der Reduzierung des Überflutungsvolumens, welches die Maßnahmen in den in AMAREX modellierten Pilotgebieten erreichen, bewertet (Minke et al., in Veröffentlichung; Scheid et al., in Veröffentlichung). Dabei werden berechnete Überlaufdaten der Maßnahmen bei Starkregenereignissen genutzt. Die geringsten Überlaufwerte ergeben sich bei den explizit zur Überflutungsvorsorge vorgesehenen RWB+ Maßnahmen: *Versickerungsmulde+, Versickerungsrigole+, Mulden-Rigolen-Element+ sowie das Intensive Gründach und das Retentionsdach*. Damit erzielen diese Scores zwischen 9 und 10. Hohe Bewertungen (Score 8) werden von weiteren fünf Maßnahmen erreicht, welche ebenfalls geringe Überläufe verzeichnen (*RWB Versickerungsmulde, RWB Rigole, RWB Mulden-Rigolen-Element, RWB Extensives Gründach, RWB+ Smarte Retentionszisterne*). Mit nur ein bis zwei Punkten weisen die Maßnahmen *RWB-N Speicherrigole als „Zisterne"* und die RWB-N *Smarte Retentionszisterne* und auch die *RWB Zisterne* die geringsten Scores aus. Diese sind nicht für den Überflutungsschutz ausgelegt und dimensioniert, was sich in den Überlaufdaten widerspiegelt. Dies restlichen Maßnahmen (Maßnahmen mit Baum sowie RWB-N Dächer) bewegen sich mit Scores zwischen 5 und 6 im Mittelfeld, da sie teilweise deutliche Überläufe vorweisen.

Gewässerschutz

Das Kriterium *Gewässerschutz* bewertet anhand von zwei Indikatoren, inwiefern eine Maßnahme zum Schutz von Gewässern beiträgt. Einerseits wird berücksichtigt, wie effektiv sie **Abschläge** – Notentlastungen aus Kanalnetzen in Oberflächengewässer – **reduziert**, und andererseits, wie gut sie durch ihre filternde Wirkung **abfiltrierbare Feststoffe zurückhält**, um den Grundwasserschutz zu gewährleisten. Dabei ist zu beachten, dass Abschläge vor allem bei Mischkanalisation einen negativen Effekt auf Oberflächengewässer vorweisen. Die vorgenommene Bewertung ist unter der Annahme der Mischkanalisation erfolgt.

Für das Scoring der **Abschlagvermeidung** wurden die Bewertungen der Überläufe der Maßnahmen bei Starkregenereignissen herangezogen, welche auch für das Kriterium Überflutungsschutz (s.o.) genutzt wurden. So schneiden hier mit Scores von 9 bis 10 am besten die Maßnahmen *Versickerungsmulde+, Versickerungsrigole+, Mulden-Rigolen-Element+ sowie das Intensive Gründach und das Retentionsdach* ab.

Für den Indikator **abfiltrierbare Feststoffe (AFS)** wurde basierend auf Literatur eine Experteneinschätzung vorgenommen und in vier Stufen eingeordnet (von geringer Abfiltrierung bis hohe Abfiltrierung). Tatsächlich wurden nur Scores zwischen „gering-mittlere Abfiltrierung“ und „hohe Abfiltrierung“ vergeben. Maßnahmen, die basierend auf den AMAREX Steckbriefen einen Filter eingebaut haben, erreichen mittelhohe Scores (5,5), dazu gehören die Zisternen sowie Rigolen sowie Maßnahmen, die eine Zisterne angeschlossen haben. Mulden erreichen durch ihren Bewuchs und die dicke Bodenschicht eine hohe Abfiltrierung und die höchste Bewertung (10) – dies gilt auch für die Mulden-Rigolen-Elemente sowie die Gründächer. Bei Letzteren sind die hohen Scores bedingt dadurch, dass das Regenwasser durch Gründächer nicht mit abfiltrierbaren Stoffen belastet wird. Mit geringsten Scores schneiden der *RWB optimierte Baumstandort* und die *RWB+ Baumrigole* ab, da in den Maßnahmen keine Zisternen mit Filter vorhanden sind und kein Bewuchs sowie eine dickere, filternde Bodenschicht wie bei den Mulden vorhanden ist.

Für das Gesamtkriterium Gewässerschutz schneiden die Maßnahmen am besten ab, welche auch die höchsten Werte unter dem Indikator Abschlagvermeidung erhalten haben. Sie haben alle auch hohe Bewertungen unter dem Indikator der AFS. Die geringsten Gesamtscores erreichen die *RWB-N Speicherrigole als Zisterne,* der *RWB Optimierter Baumstandort,* die *RWB+ Baumrigole* sowie die *RWB Zisterne* und die *RWB-N Smarte Retentionszisterne*. Beide Indikatoren erhielten in dem Fall niedrige bzw. mittlere Bewertungen.

Wasserspeicherung

Bei der Bewertung des Wasserspeicherungspotentials wird als Indikator das **erforderliche Nutzvolumen der Maßnahmen** angesetzt (Minke et al., in Veröffentlichung). Ein Nutzvolumen ist nur bei Maßnahmen mit einem abgedichteten Speicherraum vorhanden, also bei den RWB-N Maßnahmen sowie den Zisternen. Anlagen ohne Nutzvolumen, also ohne weitere Nutzung des Regenwassers, bekommen automatisch eine 1. Die restlichen Anlagen mit Nutzvolumen werden zwischen 2 (größtes Nutzvolumen) und 10 (kleinstes Nutzvolumen) gescort. Das Scoring erfolgt logarithmisch. Dabei wird der Unterschied im Scoring zwischen großen Nutzvolumina schwächer ausgeprägt und der Unterschied im Scoring zwischen kleinen Nutzvolumina größer ausgeprägt. Im Ergebnis erhalten die RWB-N Anlagen *Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne, Speicherrigole als "Zisterne", Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne* und *RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne sowie die drei Zisternen die höchsten Scores (*8 bis 10). Die RWB-N Gründächer benötigen ein großes Nutzvolumen, um den Bewässerungsbedarf zu decken und erhalten so ein niedriges bzw. mittleres Scoring.

Versickerung

Die Bewertung der Versickerung basiert auf den AMAREX Projektsimulationen des Wasserhaushaltes (Minke et al., in Veröffentlichung). Dabei wird der Anteil der gesamten versickerten Menge im Verhältnis zum Niederschlag über den angeschlossenen Dachflächen in Prozent angesetzt. Maßnahmen, bei denen keine Versickerung stattfindet (*RWB Extensives Gründach, RWB+ Intensives Gründach* und *RWB+ Retentionsdach*) erhalten einen Score von 1. Maßnahmen, bei denen nur indirekt Versickerung stattfindet – durch Versickerung von Wasser, welches gespeichert und später zu Bewässerung von Stadtgrün genutzt wurde – erhalten einen Score von drei. Dies trifft auf die Zisternen sowie auf die RWB-N Maßnahmen *Speicherrigole als "Zisterne", Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne* sowie *Gründach mit (Retentions-) Zisterne* und *Retentionsdach mit Zisterne* zu. Alle anderen Maßnahmen erreichen sehr hohe Scorings (zwischen 9 und 10) durch einen hohen Versickerungsanteil.

Verdunstung

Auch die Bewertung der Verdunstung basiert auf den Projektsimulationen des Wasserhaushaltes (Minke et al., in Veröffentlichung). Dabei wird der Anteil der gesamten verdunsteten Menge im Verhältnis zum Niederschlag über den angeschlossenen Dachflächen in Prozent angesetzt und in ein Scoring auf einer Skala von ein bis 10 übersetzt. Die RWB und RWB+ Ausprägungen der Versickerungsmulden, Rigolen, Mulden-Rigolen-Elementen sowie Baumstandorten bzw. Baumrigolen erzielen die geringsten Scores (zwischen 1-3), da sie einen überwiegenden Teil des Regenwassers versickern. Maßnahmen wie (smarte) Zisternen, sowie RWB-N Lösungen mit (Retentions-)Zisternen verdunsten durch die Nutzung gespeicherten Wassers für die Bewässerung von Stadtgrün auf indirektem Wege deutlich mehr und erhalten Scores im oberen Mittelfeld. Dabei ist zu beachten, dass in den Verdunstungsscore hier auch Niederschlag eingerechnet wird, der über dem Stadtgrün fällt und anschließend verdunstet. Besonders hohe Werte von 9 und 10 erzielen das *RWB-N Gründach mit (Retentions-)Zisterne* sowie das *RWB-N Retentionsdach mit Zisterne*, da sie einen hohen Anteil des Niederschlags über das Dach als auch indirekt über das Stadtgrün verdunsten.

Gesamtbewertung Wasserbezogene Kriterien

Bei den Wasserhaushaltsbezogenen Kriterien zeigt sich ein gemischtes Bild. Die *RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne* schneidet am besten ab. Als einzige Maßnahme erreicht sie in allen fünf Kriterien Scores höher als 5. Ebenfalls hohe Scores erreichen der *RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne* sowie die *RWB+ Smarte Retentionszisterne.* Gemein haben alle drei bestabschneidenden Maßnahmen, dass sie eine Zisterne umfassen und so hohe Werte im Bereich Wasserspeicherung sowie Scores von bzw. über 6 im Bereich Verdunstung erzielen. Dies liegt daran, dass sie indirekt Verdunstung fördern, durch das Nutzvolumen der Zisternen welches zur Bewässerung dient. Dadurch, dass sie auch in den anderen Kategorien gut bzw. mindestens mit einem 3er Score abschneiden, erhalten sie insgesamt eine hohe Gesamtwertung in den wasserhaushaltsbezogenen Kriterien. Die Maßnahmen *RWB-N Speicherrigole als Zisterne, RWB Optimierter Baumstandort, RWB+ Baumrigole* sowie *RWB Zisterne* schneiden im Durchschnitt am geringsten ab. Sie haben je nur ein wasserhaushaltsbezogenes Kriterium, in dem sie hohe Scores erzielen, und je einen Score im besseren Mittelfeld, während sie in drei anderen Kriterien geringe Werte aufweisen. Dabei variiert, welche der vier Maßnahmen in welchen Kriterien stark bzw. weniger stark abschneiden; die einzige Gemeinsamkeit liegt bei niedrigen Ergebnissen im Bereich des Gewässerschutzes. Alle vier Maßnahmen erreichen dort besonders geringe Werte. Die übrigen Maßnahmen bewegen sich im Mittelfeld und haben sehr gemischte Ergebnisse über die Kriterien hinweg.

3.3.5 Weitere Umweltbezogene Kriterien

Tabelle 6: Bewertungsübersicht andere umweltbezogene Kriterien

	Lärmreduktion	Biodiversität & Habitatvielfalt	Luftreinhaltung	Klimawirkung	Weitere umweltbezogene Kriterien Durchschnitt
RWB Versickerungsmulde	10	7	6	10	8
RWB+ Versickerungsmulde+	10	7	6	10	8
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	10	10	6	9	9
RWB Rigole	1	1	1	10	3
RWB+ Versickerungsrigole+	1	1	1	9	3
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	1	4	6	9	5
RWB Mulden-Rigolen-Element	10	7	6	10	8
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	10	7	6	10	8
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	10	10	6	9	9
RWB Optimierter Baumstandort	10	10	6	10	9
RWB+ Baumrigole	10	10	6	10	9
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	10	10	6	9	9
RWB Extensives Gründach	10	7	10	7	8
RWB+ Intensives Gründach	10	10	10	2	8
RWB+ Retentionsdach	10	10	10	4	9
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	10	10	10	5	9
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	10	10	10	1	8
RWB Zisterne	1	4	6	8	5
RWB+ Smarte Retentionszisterne	1	4	6	8	5
RWB-N Smarte Retentionszisterne	1	4	6	9	5

Lärmreduktion

Die Lärmreduktionsbewertung liegt bei allen Maßnahmen zwischen „keine Lärmreduktion“ und „geringe Lärmreduktion“, da keine Maßnahme eine hohe Lärmschutzwirkung aufweist. Auf der 10er-Skala bedeutet dies, dass die Scores entweder bei 1 (kein Lärmschutz) oder 10 (geringer Lärmschutz) liegen. Unterirdische Maßnahmen erreichen keinen Lärmschutz, während alle anderen Maßnahmen einen geringen Lärmschutz erzielen. Dies beruht darauf, dass poröse Blätter, Gras und bewachsene Flächen eine schallbrechende oder in geringem Maß schallabsorbierende Wirkung haben und Bäume zusätzlich durch ihre visuelle Barriere zu einer gefühlten Lärmminderung beitragen können (Aylor, 1972; Dobson & Ryan, 2000; Huddart, 1990).

Biodiversität und Habitatvielfalt

Der Indikator für das Kriterium Biodiversität und Habitatvielfalt misst die durchschnittliche Habitatvielfalt einer Maßnahme basierend auf der Strukturvielfalt der Vegetationsbestände, angelehnt an das Schichtenprinzip nach Braun-Blanquet (1942). Die Bewertung erfolgt anhand eigener Expertenschätzungen basierend auf den Beschreibungen und bildlichen Darstellungen in den AMAREX Maßnahmensteckbriefen.[1] Gibt es keine Vegetationsschicht erhält die Maßnahme auf einer 10-er Skala einen Score von 1, bei einer Schicht einen Score von 4, bei zwei Schichten einen Score von 7 und bei drei oder mehr Schichten einen Score von 10. Der indirekte Beitrag zur Biodiversität und Habitatvielfalt anderer Grünflächen durch Bewässerung wurde ebenfalls berücksichtigt.

[1] https://www.amarex-projekt.de/media/pages/news/rwb-rwb-n-steckbriefe/2474a65d87-1745413966/massnahmenkatalog-mit-steckbriefen.pdf

So erzielen die Rigolen ohne Speicher den geringsten Score, da sie unterirdische Maßnahmen sind. Einen Score im unteren Mittelfeld von 4 erzielen die Zisternen sowie die *RWB-N Speicherrigole als Zisterne.* Sie sind unterirdische Maßnahmen ohne Grünelemente, welche aber durch die Bewässerung einen indirekten Effekt haben können. Mit ihrem Grasbewuchs sind die *RWB Versickerungsmulde* und die *RWB+ Versickerungsmulde+* sowie das *RWB Mulden-Rigolen-Element* und das *RWB Extensives Gründach* im oberen Mittelfeld (Score 7). Alle anderen Maßnahmen erreichen durch mehrere Vegetationsschichten und /oder zusätzliche indirekte Bewässerungseffekte den Höchstscore von 10 Punkten.

Luftreinhaltung

Das Kriterium Luftreinhaltung bewertet das Potenzial der Maßnahmen, Schadstoffe und Feinstaub aus der Luft zu entfernen und Luft so zu filtern. Die Bewertung basiert auf Expertenschätzungen, gestützt durch wissenschaftliche Erkenntnisse von Gorbachevskaya et al. (2007) um Feinstaubfilterungspotenzial von Pflanzen (PM10-Reduktion pro Vegetationsperiode). Die Wirkung wird wie folgt eingestuft: keine Wirkung (0% Reduktion) = Score 1, geringe Wirkung (>0–8% Reduktion) = Score 5,5, und mittlere Wirkung (>8–15%) = Score 10. Keine der untersuchten Maßnahmen erreicht hohe Werte (>15–30% Reduktion). Unterirdische Maßnahmen wie die RWB Rigole und RWB+ Versickerungsrigole tragen nicht zur Luftreinhaltung bei und erhalten daher den Score 1. Gründächer erzielen den höchsten Wert von 10. Alle anderen Maßnahmen erreichen durch ihre Grünflächen direkt, oder durch die Bewässerung und Erhaltung der luftreinigenden Wirkung von Stadtgrün indirekt, geringe Luftreinhaltungswerte und erhalten einen Score von 5,5.

Klimawirkung

Das Kriterium Klimawirkung bewertet die Emissionshöhe klimaschädlicher Gase, insbesondere CO_2 Emissionen, die bei der Herstellung der eingesetzten Systeme freigesetzt werden und bei ihrem Einbau entstehen. Es werden nur die Anlagetypen in ihren Grundelementen und Volumina betrachtet. Die Bewertung erfolgt auf Grundlage näherungsweiser Berechnungen des Globalen Erwärmungspotenzials (GWP-total) im Cradle-to-Gate-Verfahren für die Lebenszyklusphasen A1–A3, wie sie von LINNEA (Griebenow, 2024) berechnet wurden. Auf der 10er-Skala bedeutet dies, dass die Scores zwischen 1 (hohe THG-Emissionen) und 10 (geringe THG-Emissionen) liegen.

Als funktionale Einheit dient 1 m³ Wasserspeichervolumen. Mangels verfügbarer Umweltproduktdeklarationen (EPDs) für viele der betrachteten Anlagentypen erfolgt die Berechnung der bei der Produktion entstandenen CO_2-Äquivalente auf Basis vergleichbarer Materialien oder typischer Ausgangsstoffe. Die Genauigkeit variiert je nach Datenlage. Besonders herausfordernd ist die Abschätzung bei organischen Substraten wie Baum- oder Dachsubstraten, da hierfür kaum belastbare Vergleichswerte vorliegen. Nicht berücksichtigt wurden die Methanemissionen von stehenden Wasserflächen, die potentielle Senkenwirkung von Vegetation auf Treibhausgase und notwendige Anschlüsse und Technik (Anschlussleitungen, Kontrollschächte, Pumpen etc.). Es wurde die Annahme getroffen, dass ausschließlich Zisternen aus Kunststoff zum Einsatz kommen.[2]

Maßnahmen mit geringen Emissionen im Bau sind alle Maßnahmen (RWB, RWB+ und RWB-N) der Versickerungsmulden, Rigolen, Mulden-Rigolen-Elemente sowie optimierte Baumstandorte. Systeme mit mittleren Emissionen umfassen vor allem Zisternenlösungen ohne Kombination mit intensiven Begrünungselementen, darunter smarte Retentionszisternen und Speicherrigolen. Gründachsysteme schneiden im Vergleich mit geringeren Scores ab: Extensiv begrünte Dächer erreichen ein mittleres Niveau, während intensive oder retentionsbasierte Gründächer vergleichsweise hohe Emissionen im Bau aufweisen. Besonders hohe Emissionswerte, und entsprechend

[2] Zum Vergleich: Eine Zisterne aus PE-Kunststoff (10.000 l) verursacht 24,09 kg CO_2-Äquivalente. Eine vergleichbar große Betonzisterne kommt auf 74,92 kg CO_2-Äquivalente – also etwa den dreifachen Wert.

niedrige Scores, zeigen sich bei Maßnahmen mit hohem Material- und Bauaufwand wie Retentionsdächern mit Zisternen.

Gesamtbewertung Umweltbezogene Kriterien

Im Gesamtbild der umweltbezogenen Kriterien ergibt sich, dass die Zisternen sowie die Rigolen mit geringen Scores abschneiden bzw. sich im unteren Mittelfeld bewegen. Dies bedingt sich durch niedrige bis mittlere Scores bei der Lärmreduktion, der Biodiversität und Habitatvielfalt sowie der Luftreinhaltung, da die Maßnahmen unterirdisch sind. Alle überirdischen Maßnahmen mit Grünelementen hingegen schneiden in der Kategorie der weiteren Umweltbezogenen Kriterien ähnlich hoch ab.

3.3.6 Synergien

Tabelle 7: Bewertung Synergien Regen-Trockenheit

	Synergien Regen-Trockenheit
RWB Versickerungsmulde	1
RWB+ Versickerungsmulde+	1
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	8
RWB Rigole	1
RWB+ Versickerungsrigole+	1
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	5
RWB Mulden-Rigolen-Element	1
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	1
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	8
RWB Optimierter Baumstandort	1
RWB+ Baumrigole	1
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	8
RWB Extensives Gründach	1
RWB+ Intensives Gründach	1
RWB+ Retentionsdach	1
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	5
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	4
RWB Zisterne	6
RWB+ Smarte Retentionszisterne	10
RWB-N Smarte Retentionszisterne	7

Synergie Regen-Trockenheit

Da das AMAREX Projekt Möglichkeiten der Anpassungen auf Trockenheit als auch Starkregen untersucht, bewertet das Kriterium, inwiefern Maßnahmen das Potential haben, bei Starkregenereignissen Wasser einzustauen und den Abfluss ins Abwassersystem zu drosseln *als auch* für Trockenperioden Wasser für Bewässerungszwecke rückzuhalten. Dabei ist anzumerken, dass die verschiedenen Maßnahmenausprägungen – RWB, RWB+ und RWB-N – verschiedene Zielsetzungen haben. Während die RWB Maßnahmen so dimensioniert sind, dass sie einen 5-Jahres Regen vollständig kappen können und die RWB+ Maßnahmen einen 100-Jahres Regen

vollständig kappen, sind die RWB-N Maßnahmen, und vor allem die Speicherelemente, so dimensioniert, dass sie eine bestimmte Wiesenfläche und Anzahl von Bäumen ausreichend[3] bewässern können. Potentielle Maßnahmendesigns könnten ebenfalls „RWB+N“ Maßnahmen einschließen, welche so dimensioniert werden könnten, dass sie einen 100-Jahres Regen kappen *und* die festgelegte Anzahl von Bäumen und Fläche an Wiese ausreichend bewässern können.

Für das Scoring der analysierten RWB, RWB+ und RWB-N Anlagen wurden die Scores für Wasserspeicherung (s.o.) und Überflutungsschutz (s.o.) kombiniert. Dabei erhielten Maßnahmen, die kein Wasser speichern (Wasserspeicherung Score 1) automatisch auch in der Synergien-Bewertung nur einen Score von 1. Durch geringe Wasserspeicherung und ein mittleres Scoring für Überflutungsschutz erhält des *RWB-N Retentionsdach mit Zisterne* einen Score von 4. Mit mittleren Scores für Wasserspeicherung und Überflutungsschutz erhält das *RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne* einen Synergien-Score von 5 genauso wie die *RWB-N Speicherrigole als Zisterne.* Die *RWB Zisterne* sowie *RWB-N Smarte Retentionszisterne* erhalten ein Synergien Score von 6-7 durch hohe Scores für Wasserspeicherung (9-10) aber niedrige Überflutungsschutz Scores (1). Die Maßnahmen *RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne, RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne, RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne* und *RWB+ Smarte Retentionszisterne* erzielen mit hohen Scores in beiden Kategorien die höchsten Synergien-Scores von 8 bis 10.

[3] “Ausreichend“ heißt hier, dass innerhalb der simulierten 10 Jahre nur in einem von 10 Jahren Trinkwassernachspeisung erfolgen darf (die sogenannte 9-von-10-Regel).

3.3.7 Gesamtbewertung

	Kostengünstig	Innovationspotenzial	Stadtklima	Erholung	Akzeptanz	Flächenkonkurrenz	Umsetzbarkeit	Flexibilität	Überflutungsschutz	Gewässerschutz	Wasserspeicherung	Versickerung	Verdunstung	Lärmreduktion	Biodiversität & Habitatvielfalt	Luftreinhaltung	Klimawirkung	Synergien Regen-Trockenheit	Gesamtscore
RWB Versickerungsmulde	10	1	2	1	6	7	10	10	8	9	1	9	2	10	7	6	10	1	**110**
RWB+ Versickerungsmulde+	8	6	2	1	5	4	9	10	9	9	1	9	2	10	7	6	10	1	**109**
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	3	10	7	6	5	6	8	10	6	7	9	9	7	10	10	6	9	8	**136**
RWB Rigole	7	1	1	1	3	9	3	1	8	6	1	10	1	1	1	1	10	1	**66**
RWB+ Versickerungsrigole+	6	6	1	1	3	8	2	1	9	6	1	10	1	1	1	1	9	1	**68**
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	3	10	6	6	1	7	1	1	1	1	8	3	6	1	4	6	9	5	**79**
RWB Mulden-Rigolen-Element	5	1	1	1	5	8	8	1	8	9	1	10	1	10	7	6	10	1	**93**
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	4	6	2	1	3	6	7	1	10	10	1	9	2	10	7	6	10	1	**96**
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	2	10	6	6	3	6	6	1	6	7	8	3	6	10	10	6	9	8	**113**
RWB Optimierter Baumstandort	6	1	6	6	10	1	10	1	6	1	1	10	3	10	10	6	10	1	**99**
RWB+ Baumrigole	3	6	6	6	8	3	8	1	6	1	1	10	2	10	10	6	10	1	**98**
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	2	10	10	10	6	8	7	1	6	4	9	10	6	10	10	6	9	8	**132**
RWB Extensives Gründach	9	1	3	1	8	10	8	6	8	9	1	1	4	10	7	10	7	1	**104**
RWB+ Intensives Gründach	4	1	6	10	8	10	7	6	10	10	1	1	6	10	10	10	2	1	**113**
RWB+ Retentionsdach	7	6	4	1	8	10	7	6	10	10	1	1	5	10	10	10	4	1	**111**
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	3	10	8	6	6	8	7	6	5	7	4	3	9	10	10	10	5	5	**122**
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	2	10	9	6	6	6	7	6	6	7	2	3	10	10	10	10	1	4	**115**
RWB Zisterne	3	1	6	6	3	9	10	1	2	2	9	3	6	1	4	6	8	6	**86**
RWB+ Smarte Retentionszisterne	1	10	6	6	1	8	6	1	8	6	10	3	6	1	4	6	8	10	**101**
RWB-N Smarte Retentionszisterne	1	10	8	6	1	9	6	1	2	2	10	3	6	1	4	6	9	7	**92**

Tabelle 8: Übersicht Gesamtbewertung

Für die Gesamtbetrachtung ist es wichtig hervorzuheben, dass alle Kriterien gleich gewichtet werden. Das führt dazu, dass beispielsweise im Bereich der ökonomischen Bewertung nicht zwangsläufig die klassischen, in der Regel kostengünstigeren RWB-Maßnahmen (z. B. einfache Mulden oder Zisternen) am besten abschneiden. Stattdessen erzielen hier durch die Bewertung des Innovationspotentials insbesondere RWB+ und RWB-N Ausprägungen höhere Gesamtwerte. Eine abweichende Gewichtung der einzelnen Kriterien könnte demnach zu veränderten Gesamtergebnissen führen.

Zudem ist wichtig hervorzuheben, dass dies Ergebnisse für die AMAREX Fallstudien Berlin bzw. Köln sind. Vor allem die Wasserhaushaltskriterien basieren auf Modellierungen des AMAREX Projekts, diese beeinflussen u.a. auch Kategorien wie Flächenkonkurrenz und Stadtklima. Somit sind die Ergebnisse lokalspezifisch und nur unter Vorbehalt auf andere Städte bzw. Stadtteile übertragbar sind.

Unter der Prämisse gleicher Gewichtung zeigt sich, dass Rigolen in der Gesamtbewertung die niedrigsten Scores aufweisen, gefolgt von den „alleinstehenden“ Zisternen. Dies lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass es sich bei beiden um unterirdische Maßnahmen handelt, die beide keine Grünelemente integrieren. In den für diese Multikriterienanalyse ausgewählten Kategorien, insbesondere bei den umweltbezogenen und sozialen Kriterien, erzielen Maßnahmen mit Grünelementen deutlich höhere Werte, da sie Zusatznutzen in diesen Bereichen bieten. Zusätzlich schneiden die unterirdischen Maßnahmen auch in den anwendungsbezogenen Kriterien mit niedrigen Scores ab, da ihre Realisierung häufig tiefgreifendere bauliche Eingriffe erfordert. Die Nachrüstung oder Anpassung im Bestand ist zudem nur schwieriger möglich.

Mulden-Rigolen-Elemente sowie Baumstandorte ohne Zisterne erhalten eine mittlere Gesamtbewertung. Ihre Bewertung variiert zwischen den einzelnen Kriterien: Bäume erzielen beispielsweise hohe Werte in den umweltbezogenen Kriterien, während insbesondere RWB- und RWB+-Ausprägungen in der Kategorie Wasserhaushalt vergleichsweise schwach abschneiden. Bei den Mulden-Rigolen-Elementen liegen die Schwächen vorrangig im Bereich der sozialen und anwendungsbezogenen Kriterien sowie in den ökonomischen Bewertungen.

Die höchste Bewertung weisen Mulden und Gründächer auf. Mulden überzeugen insbesondere durch ihre einfache Umsetzung (anwendungsbezogene Kriterien) und erreichen darüber hinaus durchweg mittlere bis hohe Wertungen in den übrigen Kategorien. Gründächer erzielen ebenfalls konsistente mittlere bis hohe Scores, ohne dabei jedoch in einer Kategorie besonders hervorzustechen. Beide Maßnahmen weisen durch ihre Grünelemente diverse Zusatznutzen auf, die mit in die Bewertung einfließen.

Den mit Abstand höchsten Gesamtscore erreichen die RWB-N Versickerungsmulde mit Retentionszisterne sowie der RWB-N Baumstandort mit Retentionszisterne. Beide Varianten erzielen in sämtlichen Kategorien mindestens mittlere, zumeist aber sehr hohe Wertungen. RWB-N Ausprägungen sind im Vergleich zu ihren RWB und RWB+ Ausprägungen insgesamt besser bewertet, mit Ausnahme der RWB-N Zisterne, ist dies ein durchgängiger Trend in dieser Analyse. Hauptgründe hierfür sind die hohen Bewertungen im Bereich der Wasserspeicherung und der damit verbundenen Synergieeffekte. Diese Maßnahmen erzielen beispielsweise auch in Kriterien wie Verdunstung, Stadtklima und Erholung hohe Werte, da indirekte Bewässerungseffekte in die Wertung einfließen und so grüne Infrastruktur stärken.

3.4 Diskussion und Fazit

Die Multikriterienanalyse verdeutlicht, wie stark das Gesamtergebnis davon abhängt, *welche* Kriterien in die Bewertung einfließen und *wie* diese gewichtet werden. Eine andere Auswahl

oder Gewichtung kann die Rangfolge der Maßnahmen deutlich verändern. Die hier präsentierten Ergebnisse beziehen sich spezifisch auf die AMAREX-Fallstudien in Berlin und Köln, wobei insbesondere die Wasserhaushaltskriterien auf hydrologischen Modellierungen des Projekts beruhen. Diese beeinflussen nicht nur die direkt zugeordneten Kategorien, sondern wirken sich auch auf Aspekte wie Flächenkonkurrenz oder Stadtklima aus. Entsprechend sind die Ergebnisse nicht ohne Weiteres auf andere städtische Kontexte übertragbar. Insgesamt weisen oberirdische Maßnahmen mit Grünelementen – insbesondere RWB-N-Ausprägungen, Gründächer und Mulden – die höchsten Bewertungen auf, da sie neben ihren primären Funktionen eine Vielzahl positiver Zusatzeffekte mit sich bringen, u.a. durch die indirekten Effekte der Bewässerung. Im Gegensatz dazu erzielen unterirdische Maßnahmen ohne direkte Grünelemente, wie Rigolen oder klassische Zisternen, aufgrund ihrer geringen Flexibilität und fehlenden Zusatznutzen niedrige Bewertungen auf.

Eine integrierte sozioökonomische Bewertungsmethodik, wie die hier vorgestellte MKA, kann die kommunale Planungspraxis gezielt dabei unterstützen, blau-grüne Infrastrukturen in ihrer Gesamtheit zu bewerten und fundiertere Entscheidungen zu treffen. Der Ansatz macht sichtbar, dass BGI nicht nur ökonomisch oder technisch, sondern auch sozial, ökologisch und stadtgestalterisch wirksam sind. Besonders der indirekte Nutzen – etwa für Stadtklima, Aufenthaltsqualität, Biodiversität oder soziale Effekte – wird in traditionellen Kosten-Nutzen-Abwägungen häufig nicht ausreichend berücksichtigt. Die MKA bietet somit ein mehrdimensionales Bewertungsinstrument, dass die vielseitigen Nutzen von Maßnahmen abbildet und Entscheidungsprozesse umfassender legitimieren kann. Gerade in Zeiten multipler urbaner Herausforderungen bietet ein solcher Ansatz die Möglichkeit, Maßnahmen ganzheitlich zu priorisieren – mit Blick auf langfristige urbane Resilienz und Lebensqualität.

Während der Durchführung der MKA sind verschiedene Herausforderungen aufgetreten und einige Einschränkungen sind zu beachten. So zeigen die verfügbaren Informationen zu den analysierten BGI-Maßnahmen erhebliche Unterschiede. Während für etabliertere Maßnahmen umfassende Information in der Literatur vorliegen, mussten für neuere oder weniger dokumentierte Maßnahmen, insbesondere jene aus dem Bereich RWB-N, Informationen teils geschätzt oder abgeleitet werden. Diese Unterschiede in der Datenqualität und -quantität können die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Bewertungen beeinflussen.

Außerdem hängt die Effektivität und Auswirkungen der BGI-Maßnahmen in der Regel stark von lokalen Gegebenheiten ab. Diese Lokalspezifität stellt eine Herausforderung für die Robustheit der hier durchgeführten Bewertung dar, da die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche städtische Kontexte begrenzt sein kann.

Zudem mussten in der Bewertung verschiedene räumliche Bezüge berücksichtigt werden, von spezifischen Standorten über Straßenzüge hinweg. Diese Skalierung wirft Fragen auf, zum Beispiel bezüglich der Abkühlungseffekte auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen.

Als Vergleichsbasis für die Bewertung der Maßnahmen wurde in der Regel eine versiegelte Fläche angenommen wurde. Diese Annahme beeinflusst die Bewertungsergebnisse, insbesondere im Hinblick auf die Verbesserungspotenziale durch die BGI-Maßnahmen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in verschiedener Hinsicht. Um die Analyse noch stärker lokalspezifisch zu gestalten, könnten empirische Methoden vor Ort angewandt werden, um z.B. Akzeptanz für die konkreten Pilotgebiete bzw. Stadtteile mit Hilfe von Befragungen zu erheben. Weiterer Forschungsbedarf zeigt sich in der Allgemeingültigkeit der Bewertungen. Um die generierten Aussagen zu den verschiedenen RWB, RWB+ und RWB-N Maßnahmen robuster zu gestalten, könnte die in AMAREX erarbeitete Methodik auf weitere Stadtteile oder Städte angewandt werden, um ein breiteres Bild für die verschiedenen Maßnahmen zu generieren.

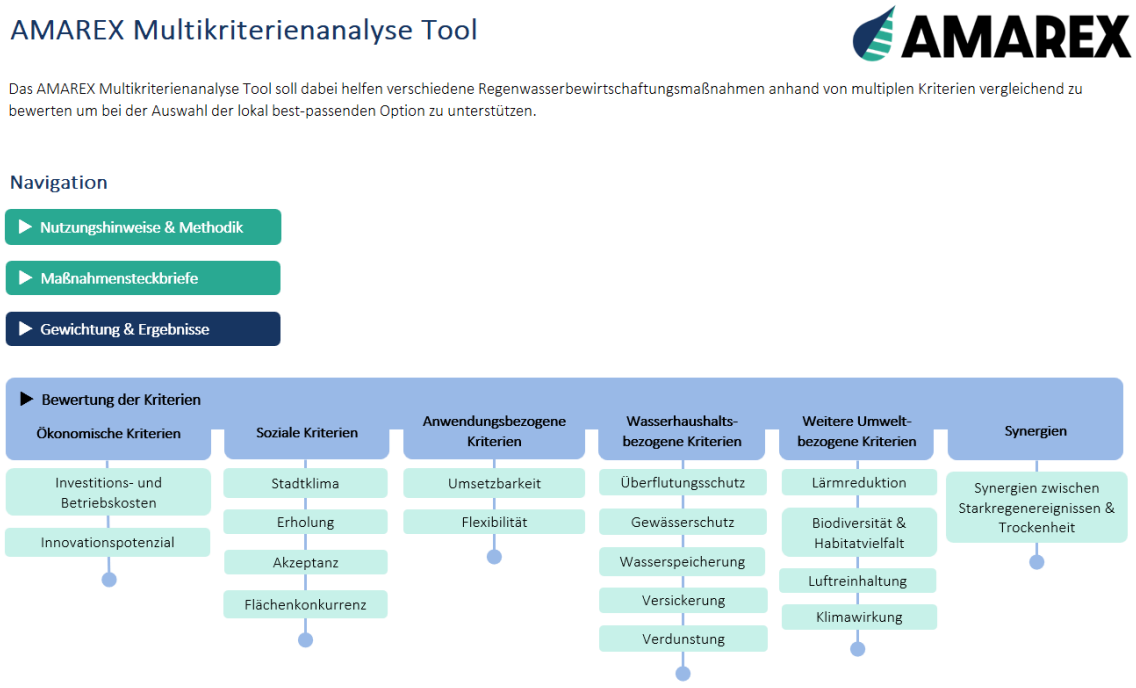
Weiterhin wäre es interessant, die in AMAREX betrachteten Maßnahmen zu Starkregenereignissen (RWB+) und Trockenheit (RWB-N) zu kombinieren. Einige Analysen wurden im Projekt bereits für diese RWB+N Maßnahmen durchgeführt, welche für die MKA genutzt werden könnten. Weiterhin ist anzumerken, dass einige Kriterien – wie zum Beispiel Verteilungsaspekte – aufgrund fehlender Datenbasis nicht mit aufgenommen werden konnten. Hier wäre es interessant, weitere Kriterien hinzuzufügen. Darüber hinaus besteht Bedarf weitere Maßnahmen in die Betrachtung einzubeziehen, sowohl blau-grüne Infrastrukturen, als auch graue Infrastrukturen, z.B. zur Wasserspeicherung.

3.5 Tool zur multikriteriellen Bewertung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen

Die Multikriterienanalyse im Rahmen von AMAREX wurde auf Grundlage der Pilotgebiete in Köln und Berlin entwickelt. Daher lassen sich die Ergebnisse nur eingeschränkt auf andere Kommunen übertragen. Um die Methode auch in weiteren Städten leichter in der Planungspraxis anwenden zu können, wurde auf Basis der AMAREX-Arbeiten ein Excel-Tool entwickelt. Dieses umfasst die in AMAREX analysierten Kriterien und ermöglicht sowohl die Eingabe lokalspezifischer Daten als auch die Ausgabe entsprechender Ergebnisse. Darüber hinaus bietet es die Möglichkeit, die einzelnen Kriterien zu gewichten. So können lokale planerische Aspekte oder politische Schwerpunkte in der Analyse stärker hervorgehoben oder weniger stark berücksichtigt werden.

Die Eingabe der Daten erfolgt in separaten Tabellenblättern über qualitative Einschätzungen auf gesetzten Skalen wie „gering“, „mittel“ oder „hoch“. Neben den Maßnahmen-Steckbriefen ist eine Übersicht über alle Kriterien und den ihnen zugeordneten Indikatoren im Tool enthalten, Details werden in den Tabellenblättern näher erläutert. Falls ein Kriterium durch mehrere Indikatoren beschrieben wird, gehen diese gleichgewichtet in die Berechnung ein, indem ihre normalisierten Scores gemittelt werden.

Abbildung 5: AMAREX Multikriterienanalyse Tool



Quelle: Ecologic Institut

4 Monetäre Kosten- und Nutzenbewertungen von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen

4.1 Einleitung

Wie die multikriterielle Bewertung der RWB-Maßnahmen bereits verdeutlicht, reicht der Nutzen der im Rahmen von AMAREX untersuchten Maßnahmen über den Überflutungsschutz und die Hitze- und Trockenheitsvorsorge hinaus und umfasst auch weitere ökologische, soziale und wirtschaftliche Wirkungen. Die Multi-Kriterien-Analyse kann diese Zusatznutzen bzw. ebenfalls Umsetzungscharakteristika der Maßnahmen in ihrer Breite gut abbilden und damit die Auswahl aus alternativen Maßnahmen unterstützen. Für Investitionsentscheidungen ist darüber hinaus oftmals eine Kosten-Nutzen-Betrachtung notwendig, welche die Investitions- sowie Betriebs- und Instandhaltungskosten den monetären Nutzen gegenüberstellt. Bei rein betriebswirtschaftlichen Analysen werden dabei als Nutzen die potenziellen Einnahmen bzw. Kosteneinsparungen, z.B. bei den Niederschlagswassergebühren genutzt, bei einer volkswirtschaftlichen Analyse werden soweit möglich weitere Nutzen, wie soziale und ökologische Auswirkungen auf die Bevölkerung und Ökosysteme einbezogen.

4.2 Methodik und Vorgehen

Die Monetarisierung von Kosten- und Nutzenkomponenten in Kosten-Nutzen-Analysen ist entscheidend, um den gesamtgesellschaftlichen Wert einer Maßnahme darzustellen und eine Vergleichbarkeit mit alternativen Maßnahmen herzustellen. Für die Monetarisierung liegen unterschiedliche methodische Ansätze vor. Über die Marktpreismethode können Güter, die auf Märkten gehandelt werden, bewertet werden, z.B. kann der Wert eines Stadtwaldes anhand des Verkaufspreises von Holz ermittelt werden. Neben der Marktpreismethode gibt es auch nicht-marktpreisbezogene Monetarisierungsmethoden. Diese sind bei blau-grünen Infrastrukturen besonders relevant, da viele Nutzen der blau-grünen Maßnahmen nicht direkt auf Märkten gehandelt werden. Eine Möglichkeit, zum Beispiel den Erholungswert städtischer Grünflächen zu erfassen, besteht darin, die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für deren Erhalt oder Aufwertung zu ermitteln. Dies kann beispielsweise über Befragungen, in denen hypothetische Entscheidungssituationen entworfen werden (stated preference-Ansätze) geschehen. (Tröltzsch et al., 2025)

In diesem Bericht erfolgt die Monetarisierung der einzelnen Nutzenkomponenten unter Anwendung verschiedener Monetarisierungsmethoden, darunter die Alternativkosten-, Schadenskosten-, Zahlungsbereitschafts- und Nutzentransfermethode. Dabei handelt es sich in vielen Fällen um theoretische Berechnungen, die einen monetären Wert für eine Leistung ableiten. So wird beispielsweise der Nutzen von gespeichertem Regenwasser, das zur Bewässerung eingesetzt werden kann, anhand von den Alternativkosten für Bewässerung mit Trinkwasser berechnet. Dies bedeutet nicht, dass die betreffenden Flächen in der Praxis tatsächlich im vollen Umfang mit Trinkwasser bewässert würde, sondern dient der Ermittlung eines ökonomischen Referenzwerts. Da die Nutzung von gespeichertem Regenwasser im Vergleich zu Trinkwasser gebührenfrei ist, bleibt ihr ökonomischer Wert ansonsten unberücksichtigt.

Die Bewertung basiert auf einer gesamtgesellschaftlichen Perspektive (volkswirtschaftliche Wohlfahrtsbetrachtung) und quantifiziert den Nutzen für die Gesellschaft, einschließlich externer Effekte, wie Verbesserungen von Umwelt- und Gesundheitsbedingungen. Sie eignen sich

damit zur Bewertung der Gesamtwirkung der Maßnahmen, aber stellen keine unmittelbaren Einnahmen oder Kosteneinsparungen dar. Die Informationen stellen eine Entscheidungshilfe dar, welche die Auswahl und Priorisierung von Maßnahmen unterstützen können.

Es ist anzumerken, dass die Monetarisierung von Umweltwirkungen mit einigen Herausforderungen verbunden ist. Ein zentrales Problem liegt darin, dass viele positive Effekte, wie etwa verbesserte Luftqualität oder die Erhaltung der Biodiversität, schwer messbar sind und damit bereits Unsicherheiten bei den naturwissenschaftlichen bzw. ökologischen Effekten der Maßnahme auftreten. Hinzu kommt, dass für Umweltwirkungen oft keine Marktpreise vorliegen, wodurch andere methodische Ansätze verwendet werden, wie die Bestimmung von Opportunitätskosten oder Zahlungsbereitschaften, welche ebenfalls Unsicherheiten beinhalten. Da es keine einheitlichen Standards gibt, um Umweltwirkungen in Geldgrößen zu übersetzen, werden Vergleiche und Transparenz zwischen verschiedenen Studien erschwert. Die Methodenkonvention des Umweltbundesamtes (Matthey et al., 2024) versucht hier Abhilfe zu schaffen. Diese wurden für mehrere Nutzenbewertungen innerhalb des Projekts genutzt. Neben diesen inhaltlichen und methodischen Schwierigkeiten stoßen Monetarisierungsansätze auch auf Akzeptanzprobleme, da die Bepreisung von Natur- oder Gesundheitsleistungen teils als ethisch fragwürdig wahrgenommen wird. In dieser Studie werden Ansätze zur Bewertung von Natur und Gesundheitskosten genutzt, um die betreffenden Nutzen sichtbar zu machen, da diese sonst in den Ergebnissen nicht repräsentiert wären.

4.2.1 Vorgehen

Die Kosten-Nutzen-Analyse umfasste sechs Schritte (siehe Abbildung 6). Zunächst wurde eine Literaturrecherche zu bestehenden Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt, um Studien zu identifizieren, die ähnliche BGI-Maßnahmen bewerten, und um zu untersuchen, welche Kosten- und Nutzenkomponenten bewertet und mit welchen Methoden monetarisiert wurden. Auf dieser Grundlage wurde eine strukturierte Übersicht erstellt, aus der die Nutzen für verschiedene Arten von BGI-Maßnahmen hervorgehen. Anschließend wurden neun Nutzenkomponenten und zwei Kostenkomponenten zu einer Matrix zusammengefasst, aus der hervorgeht, welche Nutzen für die einzelnen Maßnahmen gelten. Für jede Nutzen- und Kostenkomponente wurden auf der Grundlage der Literaturrecherche geeignete Monetarisierungsmethoden ausgewählt und die erforderlichen Dateneingaben und Quellen ermittelt. Die Auswahl an Kosten- und Nutzenkomponenten wurde angepasst, um Doppelzählungen zu vermeiden und die Datenverfügbarkeit während der ersten Bewertungs- und Datenerfassungsphase zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurden Experten konsultiert, um die Plausibilität der angenommenen Nutzen zu validieren. Die endgültige Liste der monetarisierten Komponenten umfasst sieben Nutzen- und zwei Kostenkomponenten. Darüber hinaus wurden die ausgewählten Monetarisierungsmethoden überprüft und gegebenenfalls auf der Grundlage der Datenverfügbarkeit angepasst. Eine Übersicht über alle Nutzen- und Kostenkomponenten sowie die angewandten Monetarisierungsmethoden findet sich in Tabelle 9. In einem letzten Schritt wurden Funktionen entwickelt und die Berechnung der Nutzen- und Kostenkomponenten in monetären Werten durchgeführt.

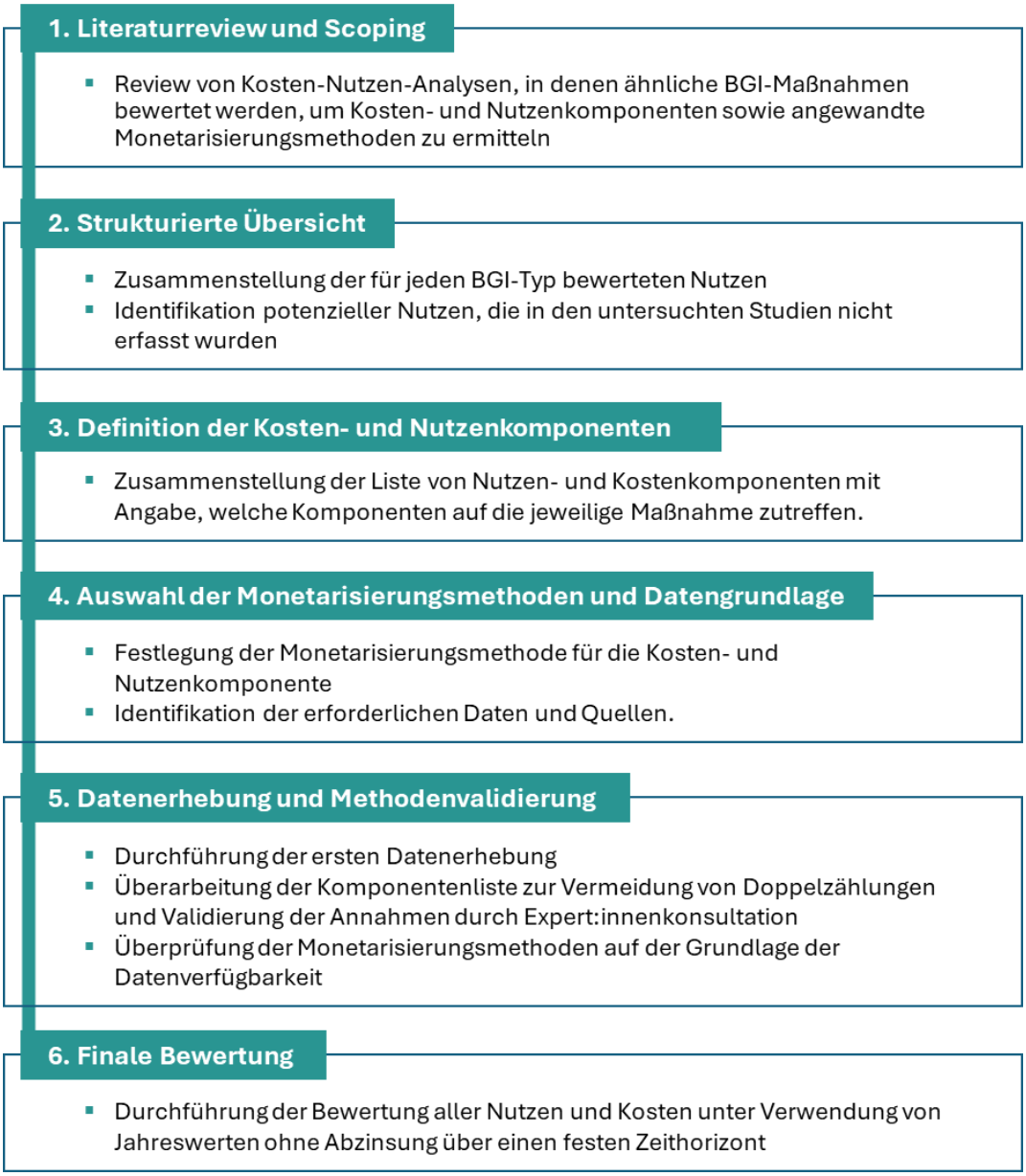


Abbildung 6: Analysevorgehen KNA

Die Analyse wurde anhand von Jahreswerten durchgeführt. Zur Umrechnung der Investitionskosten in Jahreswerte wurden Annahmen zur Nutzungsdauer der Maßnahmen gemäß DWA-A 133 zugrunde gelegt. (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 2021; Neidhart et al., 2023). Der Nutzen des Hochwasserschutzes wurde nicht auf Jahresbasis berechnet, sondern für ein Regenereignis mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren. Daher werden diese Werte separat dargestellt und nicht in die Berechnung des jährlichen Gesamtnutzens einbezogen.

Bei der Verwendung von Kosten- oder Preisgrößen aus vorhergehenden Jahren wurden die auf 2024 inflationsangepassten Werte verwendet. Für die meisten Komponenten wurde eine Bandbreite monetarisierter Werte (Minimum, Median und Maximum) berechnet, um verschiedene Szenarien widerzuspiegeln und Unsicherheiten bei der Bewertung zu berücksichtigen.

Tabelle 9: Übersicht über Kosten- und Nutzenkomponenten

Kosten- und Nutzenkomponenten	Monetarisierungsmethode		Inputs
Überflutungsschutz	Schadenskosten	Kosten für Gebäude- und Infrastrukturschäden (berechnet auf der Grundlage von (GDV, 2023; Nicklin et al., 2019a)	Überflutete Flächen (> 4,9 cm Überflutung) (Ergebnisse der Fallstudienmodellierung aus Neumann et al., 2024)
Wasserspeicherung & Nutzung für Bewässerung	Alternativkosten	Kosten für Trinkwasser	Nutzvolumen (Ergebnisse der Fallstudienmodellierung aus Rott, 2025)
Regenwasserinfiltrations	Alternativkosten	Kosten der Grauwasseraufbereitung (Berliner Wasserbetriebe, 2024; Stadtentwässerungsbetriebe Köln, 2023)	Infiltrationsvolumen (Ergebnisse der Fallstudienmodellierung aus Rott, 2025)
Temperaturregulation von Innenräumen	Alternativkosten	Geschätzte Energiekosten für die Kühlung (für Sommertage)	Energiesparpotenzial durch BGI (Bevilacqua, 2021a; Han et al., 2025a; M A Rahman & Ennos, 2016)
Luftreinhaltung	Schadenskosten	Kosten für Gesundheitsschäden (Matthey et al., 2024)	Menge der gefilterten Partikel(Center for Neighborhood Technology & American Rivers, 2010; Gorbachevskaya & Herfort, 2012; Speak et al., 2012; Yang et al., 2008a) und Flächenbedarf (Ergebnisse der Fallstudienmodellierung aus Rott, 2025)
Städtische Ästhetik und urbane Flora und Fauna	Nutzenübertragung	Schätzungen der Zahlungsbereitschaft (basierend auf Dehnhardt et al., 2020; Welling et al., 2020)	Flächenbedarf (Ergebnisse der Fallstudienmodellierung aus Rott, 2025)
Investitions- & Betriebs- und Instandhaltungskosten	Marktpreis	Marktpreise für BGI (Neidhart et al., 2023)	Flächenbedarf (Ergebnisse der Fallstudienmodellierung aus Rott, 2025)
Emissionen im Bau	Marktpreis (min. Szenario) – Schadenskosten (max. Szenario)	Marktpreise von Emissionszertifikaten (ICAP, 2025) – Kosten von Schäden im Zusammenhang mit Gesundheit, Landwirtschaft, Anstieg des Meeresspiegels und Energieverbrauch von Gebäuden (Matthey et al., 2024)	Flächenbedarf (Ergebnisse der Fallstudienmodellierung aus Rott, 2025)

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Nutzenbewertung Überflutungsschutz

RWB-Maßnahmen können einen wichtigen Beitrag zum Überflutungsschutz leisten, indem sie Starkregenspitzen abpuffern, Abflussspitzen verringern und überflutete Flächen reduzieren. Dadurch sinkt das Risiko von Gebäudeschäden, Schäden an der Infrastruktur sowie volkswirtschaftlichen Folgekosten. Für das Pilotgebiet Berlin 1 wurde der Nutzen von RWB-Maßnahmen

durch die Verringerung überfluteter Flächen im Falle eines Starkregenereignisses bewertet und monetarisiert. Im Projekt erfolgte die Modellierung der überfluteten Flächen ausschließlich für dieses Gebiet. Für Köln Kalk liegen keine Modellierungsergebnisse vor, so dass die Nutzenabschätzung auf Berlin I begrenzt ist. Die RWB-N Maßnahmen wurden aufgrund ihrer Ausrichtung auf Wasserspeicherung nicht in die Modellierung des Überflutungsschutzes einbezogen. In der Modellierung ergab sich, dass der Effekt bei Baumrigolen vernachlässigbar ist, so dass diese hier nicht einbezogen wurden.

Zur Quantifizierung wurde die Reduktion der Überflutungsflächen aus den AMAREX Modellierungen genutzt (Scheid et al., in Veröffentlichung) welche auf einem 100-jährlichen Niederschlagsereignis (HQ100) für das Pilotgebiet Berlin I basieren. Bei der Modellierung wird eine Fläche ab einem Wasserstand von 4,9 cm als überflutet gewertet. Die überfluteten Flächen wurden annäherungsweise über die Flächennutzung im Pilotgebiet auf die Gebäudefläche für Wohngebäude, Straßenflächen, Hof- und Wegeflächen sowie Grünflächen umgerechnet. Für die Monetarisierung wurden Schadenskosten für Wohngebäude nach Starkregenereignissen in Berlin verwendet. Diese beziehen sich auf Auswertungen des GDV für Starkregenereignisse zwischen 2002 und 2021 und basieren auf der Beseitigung der Folgen der Ereignisse (Gesamtverband der Versicherer, 2023). Der durchschnittliche Schadenswert beträgt dabei knapp 90 €/m² für Wohngebäude (umgerechnet auf Preise 2024). Ergänzend wurden die Schadenssätze für weitere Flächenkategorien aus einer Studie zu Kostenschätzungen in Rotterdam (Lombardijen) und Leicester (Belgrave) übernommen: 0,109 €/m² für Straßenflächen, 0,158 €/m² für Grünflächen sowie für Hof- und Wegeflächen (Nicklin et al., 2019b).[4]

Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen RWB Maßnahmen. Während Maßnahmen, wie Zisternen, nur eine Reduktion der überfluteten Fläche von ca. 3,3 ha gegenüber der überfluteten Referenzfläche ohne Maßnahmen von 33,2 ha erreichen, was einem Nutzen von rund 860.000 € entspricht, können intensive Gründächer oder Mulden-Rigolen-Elemente über 11 ha Reduktion erzielen und damit Nutzenwerte von rund 2,2 Mio. € generieren. Besonders hohe Nutzenwerte ergeben sich auch bei kombinierten oder weiterentwickelten Systemen wie smarten Retentionszisternen mit bis zu 2,8 Mio. € oder Retentionsdächern mit knapp 3 Mio. €. Insgesamt liegt die Spannbreite der Ergebnisse zwischen rund 86.000 € (Zisterne) und 3 Mio. € (intensive Gründächer, Retentionsdächer, Mulden-Rigolen-Element+). Zum Vergleich: Die maximalen Gesamtschäden ohne Maßnahmen betragen für Berlin 1 etwa 6,3 Mio. €, was in einer ähnlichen Größenordnung liegt wie die in internationalen Vergleichsstudien ermittelten Gesamtschäden von rund 11 Mio. € für Belgrave/Leicester und 12,4 Mio. € für Lombardijen/Rotterdam (Nicklin et al., 2019b).

Zusätzlich sei erwähnt, dass nach Überflutungen durch Starkregenereignissen weitere Schäden durch großflächige Unterspülungen oder Erosionen an Straßen, Grün- und Wegeflächen anfallen können, die deutlich höher liegen könnten als die hier angesetzten eher konservativen Schadenswerte.

[4] Die Preise wurden entsprechend dem BKI-Baupreisindex (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI), 2025) auf 2024 Preise angepasst.

Tabelle 10: Monetarisierter Nutzen Überflutungsschutz in Berlin 1 (100-jährliches Niederschlagsereignis)

Überflutungsschutz (in 1.000 €)	Berlin 1
RWB Versickerungsmulde	1.843 €
RWB+ Versickerungsmulde+	2.977 €
RWB Rigole	1.867 €
RWB+ Versickerungsrigole+	2.839 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	2.143 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	2.982 €
RWB Extensives Gründach	2.788 €
RWB+ Intensives Gründach	2.978 €
RWB+ Retentionsdach	2.978 €
RWB Zisterne	860 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	2.762 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	2.423 €

Hinweis: In den Tabellen werden nur Maßnahmen aufgenommen, für welche Berechnungsergebnisse vorliegen.

Die Ergebnisse unterliegen verschiedenen Unsicherheiten unter anderem vereinfachten Annäherungen zu Flächenkategorien sowie der Beschränkung auf ein Bemessungsregenereignis von HQ100. Dennoch zeigen die Berechnungen, dass mit RWB Maßnahmen im Bereich Überflutungsschutz Schadenskosten vermieden werden können. Zudem ist davon auszugehen, dass der tatsächliche gesamtgesellschaftliche Nutzen bei Berücksichtigung von Folgeschäden wie Verkehrsunterbrechungen oder Produktionsausfällen noch deutlich höher ausfällt.

4.3.2 Nutzenbewertung Wasserspeicherung und Nutzung für Bewässerung

Die Speicherung und Nutzung von Regenwasser für die Bewässerung reduziert den Bedarf an Trinkwasser zur Bewässerung und schont so Trinkwasserressourcen sowie die entsprechende Aufbereitungsschritte.

Der monetäre Nutzen der Wasserspeicherung durch RWB-N Maßnahmen wird anhand der theoretisch eingesparten Trinkwassermengen bewertet. Zur Bewertung wurde entsprechend die Alternativkostenmethode herangezogen: Es wird angenommen, dass ohne RWB-N-Maßnahmen Trinkwasser zur Bewässerung verwendet werden würde und die dafür anfallenden Kosten berechnet (Alves et al., 2019).

RWB und RWB+ Maßnahmen erzielen in dieser Kategorie keinen Nutzen, da sie keine wasserspeichernden Elemente umfassen.

Die Analyse basiert auf den in AMAREX modellierten Wasserspeichermengen für die Fallstudien in Berlin und Köln (Minke et al., in Veröffentlichung). In den Modellierungen wurde für jede Stadt ein standardisiertes Bewässerungsszenario angenommen basierend auf standortspezifischen klimatischen Bedingungen, insbesondere Niederschlag und Verdunstung.

Zur Monetarisierung wurde die jährlich gespeicherte und zur Bewässerung genutzte Wassermenge mit dem lokalen Trinkwasserpreis (Stand 2024) in der jeweiligen Stadt multipliziert.[5]

[5] Dieser lag in Köln bei 1,15€/m³ (brutto; https://www.zfk.de/wasser-abwasser/trinkwasserpreise-in-koeln-steigen) und in Berlin bei 1,81€/m³ (brutto; https://www.bwb.de/de/gebuehren.php#:~:text=Die%20Mengengeb%C3%BChr%20berechnet%20sich%20nach,brutto%201%2C813%20Euro*%20pro%20Kubikmeter).

Da jede untersuchte RWB-N Maßnahme in den Modellierungen dieselben Referenzflächen (je Stadt) mit Wasser versorgen muss, ist die Wassermenge die gespeichert und später zur Bewässerung genutzt wird – und entsprechend der monetäre Nutzen – für alle RWB-N Maßnahmen gleich hoch. Für jede der **RWB-N** Maßnahmen liegt er im Pilotgebiet **Berlin 1** bei **221.00 €** und in **Köln Kalk** bei **84.000** € im Jahr

Die Berechnungen basieren auf den AMAREX-Projektmodellierungen und auf den aktuellen realen Trinkwasserpreisen in Köln bzw. Berlin und weisen daher eine geringe bis mittlere Unsicherheit auf. Abweichende Annahmen zum Bewässerungsbedarf oder zur Auslegung der Zisternen könnten zum Beispiel zu anderen Werten führen. Klimawandelauswirkungen auf Niederschlagsmengen und Temperatur gingen in die Modellierungen nicht mit ein, so dass zukünftig ein höherer Bewässerungsbedarf und damit auch ein größerer potenzieller Nutzen erwartet werden kann.

4.3.3 Nutzenbewertung Regenwasserinfiltration

Die Infiltration von Regenwasser durch Versickerung kann die Kanalisation entlasten, den Bedarf an energie- und kostenintensiver Abwasserbehandlung verringern und zur Anreicherung des Grundwassers beitragen.

Für die Bewertung des Nutzens der Regenwasserinfiltration wurde angenommen, dass das Regenwasser ohne entsprechende Maßnahmen in die Kanalisation eingeleitet und in einem Klärwerk behandelt würde, bevor es wieder einem Wasserkörper zugeführt wird. Die Monetarisierung erfolgte nach der Alternativkostenmethode, indem die versickerte (infiltrierte) Wassermenge (in m³, basierend auf den AMAREX-Projektmodellierungen des Wasserhaushaltes; Minke & Rott, in Veröffentlichung) mit den Kosten für die Klärung in den jeweiligen Städten multipliziert wurde. Da in Köln und Berlin überwiegend Mischwassersysteme vorherrschen, wurde die Schmutzwassergebühr pro m³ für die Klärkosten angesetzt.[6]

[6] In Berlin sind dies 2,155 €/m³ (Stand 2024; https://www.bwb.de/de/gebuehren.php) und in Köln 1,58 €/m³ (https://steb-koeln.de/abwasser-und-entwaesserung/abwassergebuehren/abwassergebuehren.jsp#:~:text=Zur%20Kundenzufriedenheitsumfrage-,Wie%20hoch%20sind%20die%20Geb%C3%BChren?,:%201%2C28%20%E2%82%AC)

Tabelle 11: Jährlicher monetarisierter Nutzen Regenwasserinfiltration

Regenwasserinfiltration (in 1.000 €)	**Berlin 1**	**Köln Kalk**
RWB Versickerungsmulde	851 €	714 €
RWB+ Versickerungsmulde+	818 €	721 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	719 €	786 €
RWB Rigole	902 €	727 €
RWB+ Versickerungsrigole+	935 €	743 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	106 €	175 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	865 €	713 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	848 €	720 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	106 €	175 €
RWB Optimierter Baumstandort	833 €	751 €
RWB+ Baumrigole	847 €	741 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	737 €	793 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	106 €	175 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	106 €	175 €
RWB Zisterne	106 €	175 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	106 €	175 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	106 €	175 €

Für die Pilotgebiete ergibt sich daraus ein monetarisierter Nutzen zwischen circa **100.000 € und 935.000 € pro Jahr in Berlin 1** und **175.000 € und knapp 800.000 € pro Jahr in Köln Kalk,** abhängig von der infiltrierten Wassermenge je Maßnahme. Die Versickerung und Infiltration, welche durch die Bewässerung von Stadtgrün durch gespeichertes Wasser in RWB-N Maßnahmen vorgenommen werden kann, ist hier eingerechnet und so erzielen auch RWB-N Maßnahmen, welche auf den Maßnahmenflächen selbst weniger bzw. kein Wasser versickern, hier positive monetäre Nutzenwerte.

Die Ergebnisse basieren auf AMAREX Projektmodellierungen sowie den aktuellen lokalen Schmutzwassergebühren und weisen daher eine geringe bis mittlere Unsicherheit auf.

4.3.4 Nutzenbewertung Temperaturregulation von Innenräumen

Blau-grüne Maßnahmen können durch Verschattung und Verdunstungseffekte den städtischen Wärmeinseleffekt mindern und den thermischen Komfort fördern sowie die Gesundheit, u.a. vulnerabler Gruppen, schützen.

Der Nutzen für das Stadtklima der untersuchten Maßnahmen wurde anhand der **verringerten Energiekosten zur Gebäudekühlung** ermittelt. Dies ist ein eher konservativer Rechenansatz, da der Nutzen aus der verbesserten Arbeitsproduktivität in der Regel den größten Teil des Wertes eines verbesserten Stadtklimas ausmacht, während die vermiedenen Energiekosten für Klimaanlagen nur einen kleinen Teil darstellen (Schwaab et al., 2021; Seppanen et al., 2004). Für die Berechnung verbesserter Arbeitsproduktivität gab es jedoch für die betrachteten Pilotgebiete keine ausreichende Datenbasis, zusätzlich kann mit dem genutzten Ansatz der Nutzen für die Temperaturregulation in *Wohn*gebäuden mit einbezogen werden. Entsprechend wird hier der Nutzen für die Innenraumtemperaturregulation betrachtet.

Um einen monetären Nutzen zu errechnen, wurde hier die Alternativkostenmethode genutzt. Um den Kühleffekt durch die Verschattung durch Bäume zu bewerten werden die *theoretischen* Energiekosten für die Gebäudekühlung mit Klimaanlagen (mit ähnlichem Kühlungsgrad) genutzt. Zur Berechnung wurde der Stromverbrauch ermittelt, der beim Betrieb von Split-Klimaanlagen anfällt. Dabei wurden verschiedene Annahmen hinsichtlich der Effizienz der Anlagen sowie der Kühllast der betroffenen Räume zugrunde gelegt. Es wurde angenommen, dass die

Anlagen an 50 Sommertagen im Jahr jeweils an der Hälfte dieser Tage in Betrieb sind. Zusätzlich wurde unterstellt, dass die Maßnahmen zu 100% umgesetzt werden – also eine vollständige Dachbegrünung beziehungsweise eine vollständige Alleepflanzung erfolgt. Anschließend wird der berechnete Stromverbrauch mit einem durchschnittlichen Strompreis von **0,26 €/kWh**[7] multipliziert und das Produkt mit dem **theoretisch erzielbaren Energieeinsparungsfaktor**[8] der jeweiligen Maßnahme gewichtet. Dieser Faktor soll widerspiegeln, wie viel der (theoretischen) Kühlungsenergie durch die jeweilige Maßnahme gespart werden kann.

Nur Maßnahmen mit Bäumen und Gründächern erzielen einen monetär bewertbaren Kühlungsnutzen. Unterirdische Maßnahmen wie Rigolen oder Zisternen tragen nicht direkt zu Verschattung und Verdunstungskühlung. Grünflächen wie begraste Mulden senken zwar die Oberflächentemperatur, ihre Wirkung auf die Umgebungsluft ist jedoch begrenzt (Armson et al., 2012), und belastbare Daten zur Kühlung der Innenraumluft fehlen. Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung mit Bewässerungsoption (RWB-N) könnten theoretisch durch stärkere Verdunstung und verbessertes Pflanzenwachstum des bewässerten Stadtgrüns höhere Kühlleistungen erzielen. Mangels belastbarer Daten können diese **möglichen indirekten Effekte durch Bewässerung** jedoch **nicht berücksichtigt werden**.

Für das Berliner Pilotgebiet ergibt sich pro Jahr ein Nutzen zwischen 485.000 € und 6,5 Millionen € für die Maßnahmen mit Baum und für die Gründächer zwischen 65.000 € und 1,3 Millionen €. In Köln Kalk ergeben sich Werte zwischen 396.000 € und knapp 5 Millionen € für die Maßnahmen mit Baum und für die Gründächer zwischen 49.000 € und circa 1 Millionen €. Die intensiven Gründächer erzielen je höheren Nutzen als ihre extensiven Pendants, da bei ihnen höhere Energieeinsparungen im Vergleich zu extensiven Gründächern gemessen werden konnten (Bevilacqua, 2021b).

Tabelle 12: Jährlicher monetarisierter Nutzen Innenraumtemperaturregulation

Innenraumtemperaturregulation (in 1.000 €)	**Berlin 1**			**Köln Kalk**		
	min	med	max	min	med	max
RWB Optimierter Baumstandort	485 €	2.564 €	6.540 €	369 €	1.950 €	4.976 €
RWB+ Baumrigole	485 €	2.564 €	6.540 €	369 €	1.950 €	4.976 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	485 €	2.564 €	6.540 €	369 €	1.950 €	4.976 €
RWB Extensives Gründach	65 €	439 €	1.308 €	49 €	334 €	995 €
RWB+ Intensives Gründach	97 €	659 €	1.962 €	74 €	502 €	1.493 €
RWB+ Retentionsdach	65 €	439 €	1.308 €	49 €	334 €	995 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	65 €	439 €	1.308 €	49 €	334 €	995 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	65 €	439 €	1.308 €	49 €	334 €	995 €

Die Ergebnisse sind mit hoher Unsicherheit behaftet, da sie auf zahlreichen Annahmen, z.B. zu Referenzgebäudetypen und gekühlten Flächen, fußen. Ebenfalls liegen keine spezifischen Verbrauchsdaten für das Berliner Pilotgebiet vor. Stromkosten variieren zudem erheblich, und die zugrunde liegenden Einsparwerte stammen aus Studien teils anderer Klimazonen. Um diese Einschränkungen abzubilden, wurde daher ein Spektrum aus Mindest- und Höchstwerten berechnet. Wie oben erwähnt geht die Berechnung zudem von einer vollständigen Umsetzung der Maßnahmen aus. Dennoch ist der Ansatz konservativ, da nur potenzielle Kühlenergieeinsparungen monetarisiert wurden. Der tatsächliche gesamtgesellschaftliche Nutzen – etwa durch höhere Arbeitsproduktivität infolge geringerer Temperaturen – dürfte deutlich höher liegen.

[7] Gemittelter Preis für Private Neukunden 2024, https://strom-report.com/strompreisentwicklung/#:~:text=Im%20Durchschnitt%20mussten%20Neukunden%20im,Preis%20von%2035%2C8%20Cent.
[8] Basierend auf Bevilacqua, 2021; Han et al., 2025; Rahman & Ennos, 2016

4.3.5 Nutzenbewertung Luftreinhaltung

Maßnahmen mit Grünelementen können die Luftreinhaltung fördern, indem sie die Belastung durch verschiedene Luftschadstoffe, insbesondere Feinstaub ($PM_{2,5}$ und PM_{10}), Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2), verringern. Dadurch können gesundheitliche Schäden, Biodiversitätsverluste und Ernteausfälle reduziert werden.

Der Nutzen der Luftreinhaltung wurde anhand der Schadenskostenmethode monetarisiert. Bewertet wurde ausschließlich die Reduktion von Feinstaub (PM_{10}), da für weitere Luftschadstoffe wie SO_2, NO_2 und O_3 keine ausreichende Datengrundlage vorlag. Damit sind die Ergebnisse eher als konservative Werte einzuordnen. Die Berechnung erfolgte über den Rückhalt von PM_{10} pro Quadratmeter Maßnahme (bzw. pro Baum) multipliziert mit den Schadenskosten gemäß der Methodenkonvention 3.2 des Umweltbundesamtes (Matthey et al., 2024). In der Methodenkonvention basieren die Schadenskosten von Feinstaub auf der Berechnung von Gesundheitsschäden.

Es wurden **nur oberirdische Maßnahmen berücksichtigt**. Der mögliche Einfluss von Bewässerung auf das Luftreinigungspotenzial wurde nicht monetarisiert, da hierzu keine belastbaren quantitativen Zusammenhänge vorliegen. Zwar gibt es Hinweise, dass bewässerte Vegetation stärker wächst, jedoch ist nicht eindeutig belegt, in welchem Umfang sich dies auf die Luftschadstoffbindung auswirkt. Maßnahmen mit Zisternen weisen daher in dieser Kategorie keinen monetarisierten Nutzen auf.

Für die Pilotgebiete zeigen sich die niedrigsten Nutzenwerte zwischen 4.000 € (Berlin 1) bzw. 3.000 € (Köln Kalk) *bei RWB Mulden-Rigolen-Elementen* und die höchsten Werte bis 2 Millionen € (Berlin 1) bzw. circa 1,5 Millionen € (Köln Kalk) bei *RWB+ intensiven Gründächern* pro Jahr.

Die Spannbreite spiegelt Unterschiede in der Größe der begrünten Maßnahmenfläche im Pilotgebiet wieder sowie Unterschiede im PM_{10}-Rückhalt, wie sie in verschiedenen Veröffentlichungen dokumentiert sind (Abhijith et al., 2017; Center for Neighborhood Technology & American Rivers, 2010; Dehnhardt et al., 2020; Gorbachevskaya & Herfort, 2012; Speak et al., 2012; Yang et al., 2008b). Die relativen hohen Werte für Gründächer ergeben sich aus der im Projekt modellierten größeren Maßnahmenfläche, z.B. im Vergleich zu Mulden.

Die Ergebnisse sind mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Unterschiedliche Studien berichten abweichende Reduktionsraten für PM_{10}, weshalb hier Mindest- und Höchstwerte zur Abbildung des Spektrums genutzt wurden. Zudem basiert die Maßnahmenfläche auf den Projektmodellierungen. Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, wurden die Maßnahmendimensionen so festgelegt, dass die Maßnahmen bestimmte Regenmengen zurückhalten können. Diese Dimensionierungen in der Praxis 100% umzusetzen und entsprechende Grünflächen und Baumanzahlen zu erreichen ist oft nicht realisierbar. Die Monetarisierung mithilfe der Gesundheitsschäden ist zudem mit hohen Unsicherheiten behaftet, da sie die monetäre Bewertung von gesunden bzw. verlorenen Lebensjahren beinhaltet. Dies wird teilweise methodisch als auch ethisch kritisch diskutiert, weil die Umrechnung von Lebenszeit und Lebensqualität in Geldwerte zwangsläufig auf Annahmen beruht, die kulturell, gesellschaftlich und normativ unterschiedlich bewertet werden. Zudem gibt es verschiedene Ansätze, Beziehung zwischen Exposition und Wirkung darzustellen, sodass beim Verwenden einer anderen Methodik abweichende Ergebnisse entstehen können.

Tabelle 13: Jährlicher monetarisierter Nutzen Luftreinhaltung

Luftreinhaltung (in 1.000 €)	Berlin 1			Köln Kalk		
	min	med	max	min	med	max
RWB Versickerungsmulde	7 €	11 €	14 €	5 €	7 €	10 €
RWB+ Versickerungsmulde+	15 €	23 €	30 €	9 €	14 €	19 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	7 €	11 €	14 €	5 €	7 €	10 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	4 €	6 €	8 €	3 €	5 €	6 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	10 €	15 €	21 €	7 €	10 €	13 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	4 €	6 €	8 €	3 €	5 €	6 €
RWB Optimierter Baumstandort	271 €	1.076 €	1.861 €	189 €	748 €	1.294 €
RWB+ Baumrigole	212 €	839 €	1.451 €	133 €	526 €	910 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	69 €	273 €	473 €	66 €	263 €	455 €
RWB Extensives Gründach	100 €	400 €	1.000 €	76 €	304 €	759 €
RWB+ Intensives Gründach	200 €	800 €	1.999 €	152 €	607 €	1.518 €
RWB+ Retentionsdach	100 €	400 €	1.000 €	76 €	304 €	759 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	100 €	400 €	1.000 €	76 €	304 €	759 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	100 €	400 €	1.000 €	76 €	304 €	759 €

4.3.6 Nutzenbewertung städtische Ästhetik und urbane Flora und Fauna

Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung können auch eine positive Wirkung auf die städtische Ästhetik und urbane Flora und Fauna haben. In der Literatur zu Ökosystemleistungen wird dies auch als ästhetische Aufwertung bezeichnet. Darüber hinaus bieten Maßnahmen mit Grünelementen auch einen Beitrag als ökologischer Lebensraum in der Stadt.

Der Nutzen wurde anhand von Zahlungsbereitschaften (Willingness-to-pay / WTP) bewertet. Die verwendeten Zahlungsbereitschaften wurden aus einer Studie aus Bremen übertragen, welche blau-grüne Infrastrukturen anhand von Befragungen analysiert hat (Dehnhardt et al., 2020; Welling et al., 2020). Es können Werte für niedrige, mittlere und hohe Schätzungen differenziert werden (außer bei Grünflächen und extensiver Dachbegrünung, für welche nur ein Mittelwert vorliegt), um die Unsicherheiten in der Bewertung abzubilden. Die Werte wurden auf das Jahr 2024 inflationsangepasst.

Für Mulden-Rigolen und Versickerungsmulden ergeben sich vergleichsweise geringe monetäre Nutzenwerte ca. 31.000 bis 92.000 € für das Pilotgebiet in Köln Kalk und 54.000 bis 205.000 für Berlin 1. Deutlich höher fallen die Werte bei baumbezogenen Maßnahmen aus: Optimierte Baumstandorte und Baumrigolen erreichen zwischen 1,9 und 7,5 Mio. € für Köln Kalk und 2,7 bis 15 Mio. € in Berlin 1. Noch stärker ins Gewicht fallen extensive und insbesondere intensive Gründächer. Während extensive Gründächer etwa 1,3 Mio. € für das Pilotgebiet Köln Kalk und 2,3 Mio. € für Berlin 1 generieren können, liegen die Nutzenwerte intensiver Gründächer zwischen 4,1 bis 7,2 Mio. € für Köln Kalk und 7,4 und 13,2 Mio. € für Berlin 1.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass baumbezogene Maßnahmen und intensive Gründächer den höchsten Nutzen für städtische Ästhetik und urbane Flora und Fauna generieren können. Dies lässt sich auf den hohen ökologischen und sozialen Mehrwert zurückführen, den Bäume und vielfältig bepflanzte Dachflächen im urbanen Raum stiften. Dagegen liefern einfache Retentions- oder Versickerungssysteme nur einen geringen direkten Nutzen zur ästhetischen Aufwertung.

Tabelle 14: Jährlicher monetarisierter Nutzen städtische Ästhetik und urbane Flora und Fauna

Städtische Ästhetik & urbane Flora und Fauna (in 1.000 €)	Berlin 1			Köln Kalk		
	min	med	max	min	med	max
RWB Versickerungsmulde	96 €	96 €	96 €	48 €	48 €	48 €
RWB+ Versickerungsmulde+	206 €	206 €	206 €	93 €	93 €	93 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	96 €	96 €	96 €	48 €	48 €	48 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	55 €	55 €	55 €	31 €	31 €	31 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	140 €	140 €	140 €	66 €	66 €	66 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	55 €	55 €	55 €	31 €	31 €	31 €
RWB Optimierter Baumstandort	10.979 €	12.983 €	14.986 €	5.537 €	6.547 €	7.558 €
RWB+ Baumrigole	8.560 €	10.122 €	11.684 €	3.896 €	4.607 €	5.318 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	2.791 €	3.301 €	3.810 €	1.948 €	2.304 €	2.659 €
RWB Extensives Gründach	2.377 €	2.377 €	2.377 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €
RWB+ Intensives Gründach	7.471 €	10.187 €	13.244 €	4.116 €	5.613 €	7.297 €
RWB+ Retentionsdach	2.377 €	2.377 €	2.377 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	2.377 €	2.377 €	2.377 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	2.377 €	2.377 €	2.377 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €

Die Ergebnisse verzeichnen, u.a. durch die Übertragung der Zahlungsbereitschaften aus einer anderen Stadt eine hohe Unsicherheit, da z.B. die heutige Situation und Ausstattung mit Grünelementen einen Einfluss auf den Mehrwert und Zahlungsbereitschaften für zusätzliche Grünelemente beeinfluss kann.

4.3.7 Kostenbewertung Investitions- & Betriebs- und Instandhaltungskosten

Die Investitions- sowie Betriebs- und Instandhaltungskosten sind zentraler Bestandteil jeder Projektumsetzungsüberlegung für graue sowie für blau-grüne Infrastruktur. Die hier angesetzten Kostensätze beruhen überwiegend auf Daten der Berliner Regenwasseragentur (Neidhart et al., 2023) sowie auf Ergebnissen aus dem Projekt BlueGreenStreets (2022).[9]

Zur Umrechnung der Investitionskosten auf jährliche Werte wurden Annahmen zur Nutzungsdauer der Maßnahmen nach DWA-A 133 zugrunde gelegt (vgl. Neidhart et al., 2023). Die jeweiligen Maßnahmenflächen, Volumina oder Elementzahlen, wie sie aus den AMAREX Projektmodellierungen hervorgehen (Minke et al., in Veröffentlichung), wurden mit den ermittelten Kostensätzen aus den herangezogenen Quellen multipliziert.

Für das Pilotgebiete Berlin 1 ergeben sich berechnete Investitionskosten pro Jahr zwischen 93.000 €/a für *RWB Versickerungsmulden* und um die 2,2 Mio. €/a für *RWB-N Retentionsdächer mit Zisterne* im günstigsten Szenario. Die Maximalwerte liegen respektive zwischen 180.000 €/a und 13 Mio. €/a.[10] In Köln Kalk liegen die Werte zwischen 85.000 €/a für RWB Versickerungsmulden und um die 2,2 Mio. €/a für RWB+ intensive Gründächer im günstigsten Szenario. Die Maximalwerte liegen zwischen 165.000 €/a für *RWB Versickerungsmulden* und 6,6 Mio. €/a für das *RWB-N Retentionsdach mit Zisterne*. Grundsätzlich schneiden bei den Investitionskosten die RWB Ausprägungen mit niedrigeren Kosten ab als ihre RWB+ und RWB-N Ausprägungen, die größer dimensioniert bzw. aus mehreren Elementen bestehen.

Die Betriebs- und Instandhaltungskosten liegen in Berlin 1 zwischen 7.000 €/a für RWB Rigolen und 4,2 Mio. €/a für RWB-N Retentionsdächer mit Zisternen im günstigsten Szenario. Die Maximalwerte liegen respektive zwischen 21.000 €/a und 13 Mio. €/a. In Köln Kalk ergeben sich Werte zwischen 5.000 €/a für RWB Rigolen und 3 Mio. €/a für RWB+ Intensive Gründächer im

[9] Bei Nichtübereinstimmung der betrachteten Maßnahmen bzw. Kostenszenarien wurden für einzelne Maßnahmen weitere Quellen hinzugezogen.

[10] Die recht hohen Werte von knapp 13 Mio. €/a bei den *RWB-N Retentionsdächern mit Zisterne* ergeben sich hier durch die groß dimensionierte Zisterne der Maßnahme, deren Größe auf Basis der Projekt-Modellierungen ermittelt wurde.

günstigsten Szenario. Hier liegen die Maximalwerte respektive zwischen 15.000 €/a und 9 Mio. €/a.

Die Ergebnisse sind mit einer mittleren Unsicherheit behaftet. In den Daten der Berliner Regenwasseragentur wurden teilweise von AMAREX abweichende Maßnahmenszenarien analysiert. Zur Kostenübertragung wurden daher die Maßnahmenszenarien genutzt, welche die höchste Übereinstimmung mit den in AMAREX betrachteten Maßnahmen haben. Zudem wurde ein Zuschlag von 20 % für Unvorhergesehenes, welcher in den Daten der Berliner Regenwasseragentur eingerechnet ist, übernommen. Die Werte wurden mithilfe des BKI-Baupreisindex (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI), 2025) auf 2024 Preise angepasst; die Anwendung eines anderen Indexes kann zu abweichenden Resultaten führen. In der praktischen Umsetzung hängen die Kosten zudem von den konkreten lokalen Gegebenheiten ab, sodass selbst vergleichbare Maßnahmen mit ähnlichen Dimensionen innerhalb eines Stadtviertels unterschiedliche Kosten verursachen können.

Tabelle 15: Investitionskosten (pro Jahr)

Investitionskosten (in 1.000 €; pro Jahr)	**Berlin 1**			**Köln Kalk**		
	min	med	max	min	med	max
RWB Versickerungsmulde	93 €	137 €	181 €	85 €	125 €	165 €
RWB+ Versickerungsmulde+	199 €	293 €	387 €	163 €	239 €	316 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	487 €	1.067 €	2.992 €	342 €	731 €	2.000 €
RWB Rigole	100 €	159 €	218 €	93 €	148 €	203 €
RWB+ Versickerungsrigole+	196 €	313 €	429 €	169 €	268 €	368 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	371 €	590 €	809 €	262 €	417 €	573 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	230 €	307 €	383 €	237 €	316 €	395 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	587 €	782 €	976 €	504 €	671 €	839 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	694 €	1.408 €	3.699 €	539 €	1.031 €	2.548 €
RWB Optimierter Baumstandort	351 €	1.229 €	2.108 €	321 €	1.125 €	1.929 €
RWB+ Baumrigole	1.013 €	2.068 €	3.245 €	837 €	1.708 €	2.681 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	483 €	1.246 €	3.346 €	370 €	1.005 €	2.514 €
RWB Extensives Gründach	436 €	872 €	1.308 €	436 €	872 €	1.308 €
RWB+ Intensives Gründach	2.149 €	4.298 €	6.447 €	2.149 €	4.298 €	6.447 €
RWB+ Retentionsdach	711 €	1.423 €	2.134 €	711 €	1.423 €	2.134 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	1.235 €	2.767 €	7.017 €	984 €	2.171 €	5.219 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	2.235 €	5.037 €	13.020 €	1.342 €	2.919 €	6.640 €
RWB Zisterne	393 €	933 €	2.810 €	257 €	609 €	1.836 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	1.071 €	2.540 €	7.651 €	760 €	1.803 €	5.431 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	708 €	1.679 €	5.059 €	463 €	1.097 €	3.304 €

Tabelle 16: Betriebs- und Instandhaltungskosten (pro Jahr)

Betriebs- und Instandhaltungskosten (in 1.000 €; pro Jahr)	Berlin 1			Köln Kalk		
	min	med	max	min	med	max
RWB Versickerungsmulde	36 €	78 €	121 €	25 €	54 €	84 €
RWB+ Versickerungsmulde+	76 €	167 €	259 €	47 €	104 €	161 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	821 €	1.648 €	2.476 €	415 €	834 €	1.254 €
RWB Rigole	7 €	14 €	21 €	5 €	10 €	15 €
RWB+ Versickerungsrigole+	15 €	28 €	40 €	10 €	18 €	26 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	28 €	52 €	76 €	15 €	28 €	41 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	32 €	69 €	105 €	25 €	54 €	83 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	83 €	176 €	269 €	54 €	115 €	176 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	959 €	1.921 €	2.884 €	483 €	969 €	1.456 €
RWB Optimierter Baumstandort	998 €	1.497 €	1.997 €	695 €	1.043 €	1.390 €
RWB+ Baumrigole	834 €	1.271 €	1.708 €	524 €	799 €	1.073 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	1.057 €	1.984 €	2.912 €	652 €	1.179 €	1.707 €
RWB Extensives Gründach	452 €	905 €	1.357 €	344 €	688 €	1.032 €
RWB+ Intensives Gründach	3.971 €	7.941 €	11.912 €	3.021 €	6.042 €	9.063 €
RWB+ Retentionsdach	1.206 €	2.413 €	3.619 €	918 €	1.836 €	2.753 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	2.047 €	4.094 €	6.141 €	1.175 €	2.351 €	3.526 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	4.247 €	8.494 €	12.741 €	1.875 €	3.751 €	5.626 €
RWB Zisterne	785 €	1.570 €	2.355 €	390 €	780 €	1.170 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	2.137 €	4.274 €	6.411 €	1.154 €	2.308 €	3.462 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	1.413 €	2.826 €	4.239 €	702 €	1.404 €	2.106 €

4.3.8 Kostenbewertung Emissionen im Bau

Neben den Investitions- und Instandhaltungskosten entstehen bei der Umsetzung von Maßnahmen auch externe Kosten, die u.a. durch Emissionen im Bau verursacht werden. Unter externe Kosten fallen jene Belastungen, die nicht direkt von den umsetzenden Akteuren getragen werden, sondern der Gesellschaft insgesamt entstehen, beispielsweise durch die Folgen des Klimawandels, Gesundheitsbeeinträchtigungen oder Schäden an Ökosystemen. Diese Kosten treten nicht unbedingt lokal auf, sondern können auch auf globaler Ebene zu Auswirkungen führen und werden in betriebswirtschaftlichen Kostenbetrachtungen nicht berücksichtigt.

Die Monetarisierung der Emissionen für den Bau der Anlagen erfolgte mit zwei unterschiedlichen Ansätzen, um eine Bandbreite der Ergebnisse abzubilden. Die Minimalwerte wurden mit der Marktpreismethode ermittelt, unter Verwendung der CO_2-Preise im Europäischen Emissionshandelssystem 1 (2024: 64 € pro Tonne CO_2; ICAP, 2025). Diese Werte spiegeln jedoch die externen Kosten nicht umfänglich wider, die durch Treibhausgasemissionen entstehen. Daher wurde ergänzend ein Maximalwert mithilfe der Schadenskostenmethode berechnet basierend auf Zahlen der Methodenkonvention des Umweltbundesamtes (880 € pro Tonne CO_2 in 2024; Matthey et al., 2024)

Die Berechnungen berücksichtigen ausschließlich die Emissionen aus der Herstellungs- und Bauphase der Maßnahmen, eine mögliche CO_2-Senkenwirkung von Stadtgrün wurde nicht einbezogen. Um jährliche Werte zu erhalten, wurden Annahmen zur Nutzungsdauer der Maßnahmen auf Grundlage des DWA-A 133 (siehe in Neidhart et al., 2023) gemacht. Die Emissionsdaten stammen aus CO_2 Bilanzierungen für die im AMAREX Projekt analysierten Maßnahmen (Griebenow, 2024). Details dazu siehe in Kapitel 3.3.5 unter „Klimawirkung“.

Die jeweiligen Emissionswerte wurden mit den Marktpreisen beziehungsweise mit den Schadenskosten multipliziert, um die monetarisierten Klimakosten zu erhalten. Für das Berliner Pilotgebiet ergeben sich bei Nutzung der Preise im Emissionshandel jährliche Kosten für Emissionen im Bau zwischen weniger als 1.000 € (*RWB-Versickerungsmulde*) und rund 35.000 €

(*RWB-N-Retentionsdach mit Zisterne*). Für Köln liegt die Spanne zwischen rund 1.000 € und knapp 20.000 € pro Jahr. Werden stattdessen die Werte der Methodenkonvention benutzt, steigen die Werte in Berlin 1 auf 10.000 € bis etwa 470.000 € pro Jahr, und Köln Kalk 7.000 € bis 260.000 € pro Jahr.

Die Ergebnisse variieren je nach gewählter Monetarisierungsmethode. Während die Marktpreismethode nur einen Teil der tatsächlichen externen Kosten abbildet, liefern Schadenskostenansätze höhere Werte da sie eine umfassendere Betrachtung zugrundelegen. Zusätzlich bestehen Einschränkungen in der CO_2-Emissionsdatenbasis, die in Kapitel 3.3.5 („Klimawirkung“) detaillierter erläutert werden. Entsprechend ist die Unsicherheit, mit der die Ergebnisse behaftet sind, hoch.

Tabelle 17: Monetarisierte Kosten Emissionen im Bau (pro Jahr)

Emissionen im Bau (in 1.000 €)	**Berlin 1**		**Köln Kalk**	
	min	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	1 €	10 €	1 €	7 €
RWB+ Versickerungsmulde+	1 €	20 €	1 €	13 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	6 €	86 €	3 €	45 €
RWB Rigole	2 €	30 €	2 €	22 €
RWB+ Versickerungsrigole+	4 €	60 €	3 €	39 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	8 €	112 €	5 €	61 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	2 €	26 €	1 €	19 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	4 €	56 €	3 €	35 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	9 €	120 €	5 €	66 €
RWB Optimierter Baumstandort	8 €	110 €	6 €	76 €
RWB+ Baumrigole	6 €	86 €	4 €	54 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	8 €	104 €	5 €	65 €
RWB Extensives Gründach	9 €	121 €	7 €	92 €
RWB+ Intensives Gründach	25 €	342 €	19 €	260 €
RWB+ Retentionsdach	13 €	176 €	10 €	134 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	20 €	276 €	13 €	173 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	35 €	471 €	17 €	227 €
RWB Zisterne	18 €	243 €	9 €	121 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	24 €	331 €	13 €	179 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	16 €	219 €	8 €	109 €

4.3.9 Gesamtbewertung

In der Gesamtbilanz für die Pilotgebiete Köln Kalk und Berlin 1 ergeben sich ähnliche Muster, jedoch ist anzumerken, dass Nutzenwerte für den Überflutungsschutz nur für RWB und RWB+ Maßnahmen in Berlin 1 berechnet wurde. Im Kölner Pilotgebiet sowie für RWB-N Maßnahmen wurde der Nutzen vom Überflutungsschutz nicht berechnet, da hier keine Modellierungsergebnisse vorlagen (Ausnahme: RWB-N smarte Retentionszisterne). Die Nutzenwerte des Überflutungsschutzes wurden für ein Niederschlagsereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren (HQ100) berechnet. Da es sich hierbei nicht um jährliche Werte handelt – während alle anderen Nutzen- und Kostenwerte auf Jahreswerte normiert sind – werden die Nutzenwerte des Überflutungsschutzes nicht in der Gesamtnutzenrechnung berücksichtigt, sondern separat dargestellt. Da sich in der Gesamtbetrachtung für die Pilotgebiete Köln-Kalk und Berlin 1 vergleichbare Muster zeigen, werden die folgenden Erläuterungen exemplarisch am Beispiel Berlin 1 dargestellt. Die Ergebnisse für Köln-Kalk sind im Anhang sowie in allen vorangegangen Unterkapiteln dargestellt.

In Berlin 1 erzielen den höchsten **Gesamtnutzen** baumbezogene Maßnahmen und Gründächer, insbesondere in den RWB und RWB+ Ausprägungen. Hier liegen die Werte zwischen ca.

2,5 Mio. € und knapp über 20 Mio. € pro Jahr für Berlin 1 (für min. und max. Szenarien). Mittlere Nutzenwerte (ca. 900.000 € bis knapp über 1 Mio. € für die min. und max. Szenarien) weisen die RWB und RWB+ Ausprägungen von Rigolen- und Mulden-Rigolen Elementen sowie die Versickerungsmulden auf. Die geringsten Nutzenwerte (unter 400.000 € für die min. und max. Szenarien) zeigen die *RWB-N Speicherrigole als Zisterne* und das *RWB-N Mulden-Speicherrigolen Element mit Zisterne* sowie die alleinstehenden Zisternen.

Die **Gesamtkosten** setzen sich aus Investitions-, Betriebs-/Instandhaltungs- sowie Bau-bedingte THG-Emissionen zusammen. Für die THG-Kosten wurden zwei unterschiedliche Monetarisierungsmethoden für Min- und Max-Werte angewandt, wodurch die Bandbreite zwischen beiden berechneten Werten relativ groß ist (Details siehe Kapitel 4.3.8). Die höchsten Kosten entstehen bei *intensiven Gründächern* und beim *RWB-N Retentionsdach* (ca. 6 Mio. € im min. Szenario bis 26 Mio. € im max. Szenario für Berlin 1). Im mittleren Bereich liegen *Zisternen, baumbezogene Maßnahmen* sowie *RWB+ Retentionsdächer* und die *RWB-N Ausprägungen der Gründächer* (zwischen ca. 1,2 Mio. € und 3,3 Mio. € im min. Szenario bzw. 4 – 14 Mio. € im max. Szenario für Berlin 1). Die geringsten Gesamtkosten weisen Mulden-, Rigolen- und Mulden-Rigolen-Systeme auf; dort gestalten sich vor allem die RWB und RWB+ Ausprägungen mit niedrigen Kosten.

Betrachtet man das Kosten-Nutzen Verhältnis (ohne Überflutungsschutz) schneiden der *RWB optimierte Baumstandort* und die *RWB+ Baumrigole* am besten ab, die hohe Nutzenwerte bei gering bis mittleren Gesamtkosten erzielen. Ebenfalls gut schneiden die RWB und die RWB+ Ausprägungen von *Mulden, Rigolen sowie Mulden-Rigolen-Elementen* ab. Am ungünstigsten fällt das Verhältnis bei den *kombinierten RWB-N Maßnahmen mit Zisternen* aus sowie die *alleinstehenden Zisternen*. Detaillierte Ergebnisübersichten zu beiden Pilotgebieten sind in Anhang 2 zu finden. Im Anhang sind neben den Berechnungen für die beiden Pilotgebiete Berlin 1 und Köln-Kalk auch Bewertungen für eine Dachfläche von 2.500 m^2, welche den AMAREX-Modellierungen für Überflutungsschutz und Wasserspeicherung zugrunde liegen, zu finden.

Tabelle 18: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Berlin 1

Berlin 1	Nutzen in 1.000 €				Kosten in 1.000 €	
	pro Ereignis	pro Jahr Gesamtnutzen (ohne Überflutungsschutz)			pro Jahr Gesamtkosten	
	Überflutungsschutz	min	med	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	1.843 €	954 €	958 €	961 €	130 €	312 €
RWB+ Versickerungsmulde+	2.977 €	1.039 €	1.047 €	1.054 €	276 €	666 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	0 €	1.043 €	1.047 €	1.050 €	1.314 €	5.554 €
RWB Rigole	1.867 €	902 €	902 €	902 €	109 €	269 €
RWB+ Versickerungsrigole+	2.839 €	935 €	935 €	935 €	215 €	529 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	0 €	327 €	327 €	327 €	407 €	997 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	2.143 €	924 €	926 €	928 €	264 €	514 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	2.982 €	998 €	1.003 €	1.009 €	674 €	1.301 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	0 €	386 €	388 €	390 €	1.662 €	6.703 €
RWB Optimierter Baumstandort	0 €	12.568 €	17.456 €	24.220 €	1.357 €	4.215 €
RWB+ Baumrigole	0 €	10.104 €	14.372 €	20.522 €	1.853 €	5.039 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	0 €	4.303 €	7.096 €	11.781 €	1.548 €	6.362 €
RWB Extensives Gründach	2.788 €	2.542 €	3.216 €	4.685 €	897 €	2.786 €
RWB+ Intensives Gründach	2.978 €	7.768 €	11.646 €	17.205 €	6.145 €	18.701 €
RWB+ Retentionsdach	2.978 €	2.542 €	3.216 €	4.685 €	1.930 €	5.929 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	0 €	2.869 €	3.543 €	5.012 €	3.302 €	13.434 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	0 €	2.869 €	3.543 €	5.012 €	6.517 €	26.232 €
RWB Zisterne	860 €	327 €	327 €	327 €	1.196 €	5.408 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	2.762 €	327 €	327 €	327 €	3.232 €	14.393 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	2.423 €	327 €	327 €	327 €	2.137 €	9.517 €

Tabelle 19: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Köln Kalk
Hinweis: Nutzen Überflutungsschutz nicht für Köln Kalk berechnet da Überflutungsdaten aus den Modellierungen nur für Berlin 1 vorliegen.

Köln Kalk	Nutzen in 1.000€ pro Jahr Gesamtnutzen			Kosten in 1.000€ pro Jahr Gesamtkosten	
	min	med	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	767 €	769 €	772 €	111 €	256 €
RWB+ Versickerungsmulde+	823 €	828 €	833 €	211 €	490 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	923 €	925 €	928 €	760 €	3.299 €
RWB Rigole	727 €	727 €	727 €	100 €	240 €
RWB+ Versickerungsrigole+	743 €	743 €	743 €	182 €	433 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	259 €	259 €	259 €	282 €	675 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	747 €	749 €	750 €	263 €	497 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	793 €	796 €	799 €	561 €	1.050 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	293 €	295 €	296 €	1.027 €	4.070 €
RWB Optimierter Baumstandort	6.846 €	9.996 €	14.579 €	1.022 €	3.395 €
RWB+ Baumrigole	5.139 €	7.824 €	11.945 €	1.365 €	3.808 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	3.260 €	5.394 €	8.967 €	1.027 €	4.286 €
RWB Extensives Gründach	1.435 €	1.948 €	3.064 €	787 €	2.432 €
RWB+ Intensives Gründach	4.342 €	6.722 €	10.308 €	5.189 €	15.770 €
RWB+ Retentionsdach	1.435 €	1.948 €	3.064 €	1.639 €	5.021 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	1.694 €	2.207 €	3.323 €	2.172 €	8.918 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	1.694 €	2.207 €	3.323 €	3.234 €	12.493 €
RWB Zisterne	259 €	259 €	259 €	656 €	3.127 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	259 €	259 €	259 €	1.927 €	9.072 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	259 €	259 €	259 €	1.173 €	5.519 €

Für die individuellen Maßnahmen können verschiedene Kosten- und Nutzen Szenarien betrachtet werden. Beispielhaft sind unten für zwei Maßnahmen die Kosten und Nutzen pro Jahr bei einer konservativen Betrachtung (min. Nutzen, max. Kosten) aufgeführt. Der Nutzen des Überflutungsschutzes bei einem 100-jährlichem Starkregenereignis sind gesondert aufgeführt.

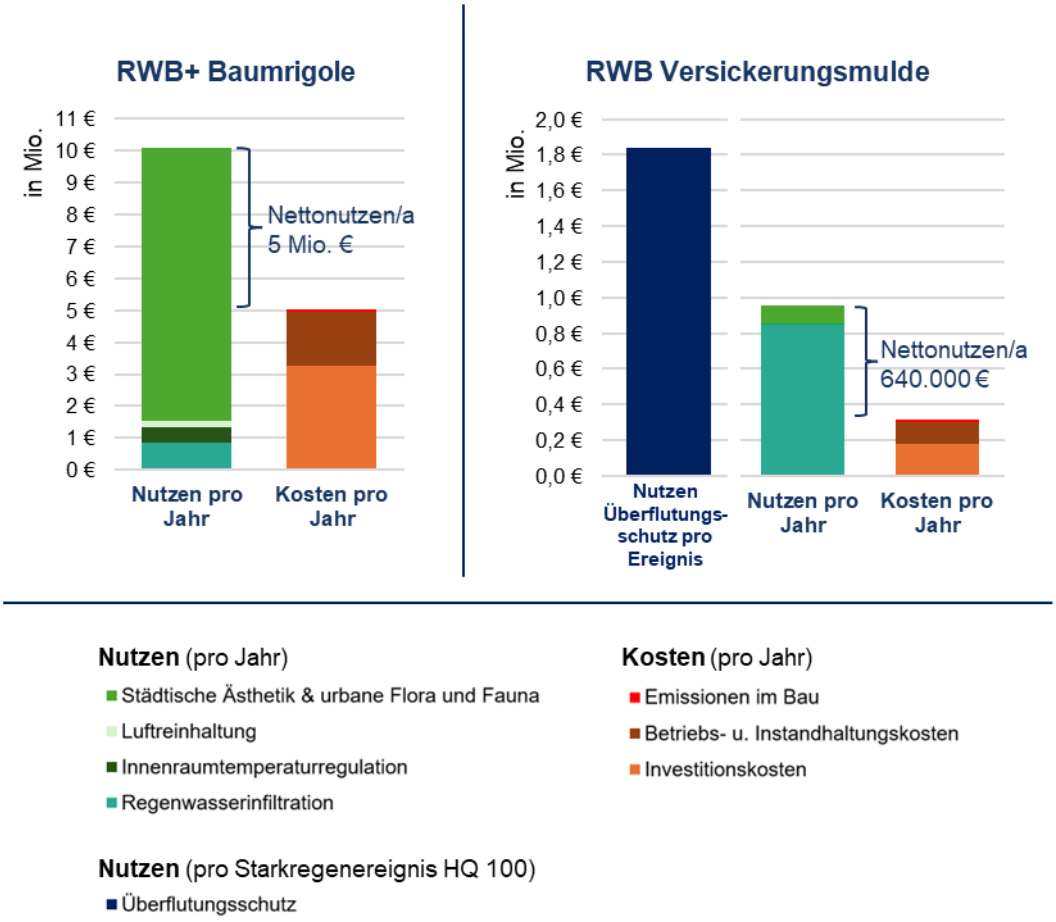


Abbildung 7: Nutzenbilanz für zwei RWB-Maßnahmen
Hinweis: Hier wird ein konservatives Szenario betrachtet (min. Nutzen, max. Kosten)

4.4 Diskussion und Fazit

Die Monetarisierung von ökologischen und sozialen Nutzen und Kosten im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse bringt Unsicherheiten mit sich. Erstens ergibt sich eine zentrale Einschränkung aus Unsicherheiten in den zugrunde liegenden biophysikalischen Zusammenhängen, beispielsweise in Bezug auf das Ausmaß, in dem Bäume oder begrünte Dächer Feinstaub zurückhalten, und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Zweitens sind viele relevante Effekte, wie Luftreinigung, Biodiversität oder Auswirkungen auf die Gesundheit, schwer zu quantifizieren, und es fehlen standardisierte Methoden und Werte für die Monetarisierung. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die monetarisierten Komponenten in der Kosten-Nutzen-Analyse sehr empfindlich auf die gewählte Monetarisierungsmethode reagieren, was durch die Schwankungen in den Schätzungen für die baubezogenen Emissionen belegt wird. Dort sind die anhand der Schadenskosten berechneten Maximalwerte 10- bis 15-mal höher als die anhand der Marktpreise berechneten Minimalwerte. Die Ergebnisse spiegeln die Abweichung zwischen dem verwendeten marktbasierten Ansatz und der Einbeziehung umfassenderer wirtschaftlicher Kosten, einschließlich externer Kosten, wider. Die geschätzte Zahl zeigt die Sensitivität der Wahl der Monetarisierungsmethode, insbesondere für Treibhausgasemissionen.

In der aktuellen Analyse werden indirekte Bewässerungseffekte für die RWB-N-Varianten aufgrund fehlender verlässlicher Informationen zu Wachstumsraten nicht quantifiziert, obwohl

solche Effekte plausibel zusätzliche Vorteile generieren und zu Diskussionen über langfristige Synergien zwischen dem Management von Hochwasser- und Dürrerisiken für diese Maßnahmen beitragen könnten. Die Modellierung schloss außerdem die Auswirkungen des Klimawandels und einige indirekte Wechselwirkungen aus, wie z. B. zwischen Bewässerung und städtischen Kühleffekten.

Weiteres Forschungspotenzial besteht in empirischen Bewertungen speziell für die neu entwickelten RWB-N, um eine präzisere Informationsbasis für die neu konzipierten Maßnahmen zu schaffen. Darüber hinaus könnte eine Analyse der Kombination von RWB+ und RWB-N (RWB+N) relevante Erkenntnisse liefern.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Basierend auf den Analysen lässt sich feststellen, dass sowohl die MKA als auch die KNA die stärkere Leistung von Maßnahmen mit begrünten Komponenten wie Mulden, Gründächern und Bäumen hervorheben. Mulden und baumbasierte Maßnahmen schneiden in beiden Bewertungen durchweg gut ab und verbinden relativ geringe Kosten und eine einfache Umsetzung mit vielfältigen ökologischen und sozialen Vorteilen. Im Gegensatz dazu schneiden unterirdische Systeme wie Rigolen und alleinstehende Zisternen in den Analysen mittelmäßig bis schlecht ab, was die Bedeutung der Integration grüner Elemente für soziale und ökologische Zusatznutzen unterstreicht. Widersprüchliche Ergebnisse lassen sich bei Gründächern beobachten. Aufgrund ihrer hohen Kosten weisen sie in der KNA meist ein negatives Kosten-Nutzen-Verhältnis auf, während sie in der MKA hohe Werte erzielen, da Investitions- und Wartungskosten nur eines von 18 Kriterien sind und mit dem gleichen Gewicht in die Wertung fallen wie beispielsweise Aspekte der Biodiversität oder der Erholung. Dies verdeutlicht, dass die Ergebnisse der MKA von der Auswahl und Gewichtung der bewerteten Kriterien abhängen.

Insgesamt bietet der kombinierte MKA-KNA-Ansatz eine umfassende Bewertung von BGI, bleibt jedoch aufgrund der Datenverfügbarkeit und methodischer Herausforderungen begrenzt. Während die MKA nicht nur die vielfältigen (Co-)Benefits, sondern auch andere Umsetzungsmerkmale in einem nicht monetären Rahmen erfasst, ergänzt die KNA diese durch die Darstellung monetärer Werte für Nutzen und Kosten. Ihre Ergebnisse hängen jedoch von der Auswahl der Bewertungsmethoden ab, die auf der Verfügbarkeit solider Dateneingaben beruhen, um Unsicherheiten zu reduzieren.

6 Quellenverzeichnis

Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S., & Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*, *162*, 71–86. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014

Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.). (2018). *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (Ausgabe 2018). Akademie für Raumforschung und Landesplanung.

Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019). Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. *Journal of Environmental Management*, *239*, 244–254. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.036

Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, *11*(3), 245–255. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002

Aylor, D. (1972). Noise Reduction by Vegetation and Ground. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *51*(1B), 197–205. https://doi.org/10.1121/1.1912830

Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI). (2025). *Baupreisindex—Basisjahr 2015*. BKI. https://bki.de/baupreisindex-basisjahr-2015

Berliner Wasserbetriebe. (o. J.). *Gebühren—Berliner Wasserbetriebe*. BWB. Abgerufen 5. November 2025, von https://www.bwb.de/de/gebuehren.php

Berliner Wasserbetriebe. (2024). *Gebühren für Trinkwasser, Schmutzwasser, Niederschlagswasser, Fäkalwasser und Fäkalschlamm ab dem 1. Januar 2024*. https://www.bwb.de/de/assets/downloads/2024_gebuehrenblatt.pdf

Bevilacqua, P. (2021a). The effectiveness of green roofs in reducing building energy consumptions across different climates. A summary of literature results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *151*, 111523. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111523

Bevilacqua, P. (2021b). The effectiveness of green roofs in reducing building energy consumptions across different climates. A summary of literature results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *151*, 111523. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111523

BlueGreenStreets. (2022). *BlueGreenStreets Toolbox – Teil B. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere*. BlueGreenStreets Projektverbund.

Braun-Blanquet, J. (1942). *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde* (2., völlig neu bearb. Auflage). Springer.

Center for Neighborhood Technology & American Rivers. (2010). *The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits*. Center for Neighborhood Technology (CNT). https://www.cnt.org/publications/the-value-of-green-infrastructure

Dehnhardt, A., Salecki, S., Wagner, J., & Welling, M. (2020). *Kosten und Nutzen von grünen Klimaanpassungsmaßnahmen in Bremen: Fokus Dach- und Freiflächenbegrünung*. BRESILIENT.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Hrsg.). (2021). *Wertermittlung von Abwasseranlagen: Systematische Erfassung, Bewertung und Fortschreibung* (1. Auflage). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

Dobson, M., & Ryan, J. (2000). Arboricultural Advisory and Information Serivce. https://www.trees.org.uk/Trees.org.uk/files/8c/8c69f212-a82e-424b-96d1-c8ff6dc02403.pdf

GDV. (2023). *Bundesländer nach Häufigkeit der Starkregenschäden 2002-2021*. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV). https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/bundeslaender-nach-haeufigkeit-der-starkregenschaeden-2002-2021-157486

Gesamtverband der Versicherer. (2023). *Starkregenbilanz 2002 bis 2021: Bundesweit 12,6 Milliarden Euro Schäden*. https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/starkregenbilanz-2002-bis-2021-bundesweit-12-6-milliarden-euro-schaeden-137444

Gorbachevskaya, O., & Herfort, S. (2012). *Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen* [Bericht]. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (FBB). https://www.gebaeudegruen.info

Gorbachevskaya, O., Schreiter, H., & Kappis, C. (2007). Wissenschaftlicher Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential von Pflanzen (qualitativ und quantitativ). Ergebnisse der Literaturstudie. *Berliner Geographische Arbeiten*, *109*.

Griebenow, S. (2024). *CO2 Bilanzierung*. LINNEA.

Han, D., Wang, M., Li, J., Zhang, T., Zhang, X., Liu, J., & Tan, Y. (2025a). Cooling effects and energy-saving potential of urban vegetation in cold-climate cities: A comparative study using regression and coupled simulation models. *Urban Climate*, *59*, 102268. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102268

Han, D., Wang, M., Li, J., Zhang, T., Zhang, X., Liu, J., & Tan, Y. (2025b). Cooling effects and energy-saving potential of urban vegetation in cold-climate cities: A comparative study using regression and coupled simulation models. *Urban Climate*, *59*, 102268. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102268

Huddart, L. (1990). *The use of vegetation for traffic noise screening*.

ICAP. (2025). *EU Emissions Trading System (EU ETS) | International Carbon Action Partnership*. https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets

Kellou, D., Menke, I., Rauch, T., König, F., Souverijns, N., Davidel, R., & De Paep, M. (2024). *Hitzestress und Anpassungsmaßnahmen in der Metropolregion Berlin-Brandenburg*. Climate Analytics, VITO, BUUR (Sweco). https://climateanalytics.org

LAWA. (2021). *Auf dem Weg zur wassersensiblen Stadtentwicklung. Positionspapier*. Bund/Länder- Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).

M A Rahman, & Ennos, R. (2016). *What we know and don't know about the cooling benefits of urban trees*. http://www.tdag.org.uk/research.html. https://www.researchgate.net/doi/10.13140/RG.2.1.5122.2645

Matthey, A., Bünger, B., & Eser, N. (2024). *Methodological Convention 3.2 for the Assessment of Environmental Costs: Value Factors*. Umweltbundesamt.

Minke, R., Rott, E., Strauß, M., & Pfaffenberg, I. (in Veröffentlichung). *Schlussbericht zu Arbeitspaket 3 „Funktionserweiterung von RWB-Anlagen zur Vorsorge gegen Hitze und Trockenheit". Sachbericht zum Verwendungsnachweis des Verbundvorhabens AMAREX – Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse, Fördermaßnahme Wasserextreme (WaX) des BMFTR*. ISWA Universität Stuttgart.

Neidhart, N., Sieker, H., Heinrichsen, A., Birkholz, P., Müller, S., Sympher, K.-J., Hug, O., & Wendt, K. (2023). *Ökonomische Analyse dezentraler Regenwasserbewirtschaftung in Berlin* [Studie]. Berliner Regenwasseragentur; Sieker; Confideon; Pecher und Partner. https://www.regenwasseragentur.berlin

Neumann, J., Scheid, C., & Dittmer, U. (2024). Potential of Decentral Nature-Based Solutions for Mitigation of Pluvial Floods in Urban Areas—A Simulation Study Based on 1D/2D Coupled Modeling. *Water*, *16*(6), 811. https://doi.org/10.3390/w16060811

Nicklin, H., Leicher, A. M., Dieperink, C., & Van Leeuwen, K. (2019a). Understanding the Costs of Inaction – An Assessment of Pluvial Flood Damages in Two European Cities. *Water*, *11*(4), 801. https://doi.org/10.3390/w11040801

Nicklin, H., Leicher, A. M., Dieperink, C., & Van Leeuwen, K. (2019b). Understanding the Costs of Inaction–An Assessment of Pluvial Flood Damages in Two European Cities. *Water*, *11*(4), 801. https://doi.org/10.3390/w11040801

Rahman, M. A., & Ennos, A. R. (2016). What we know and don't know about the cooling benefits of urban trees. *United Kingdom*.

Ren, X., Hong, N., Li, L., Kang, J., & Li, J. (2020). Effect of infiltration rate changes in urban soils on stormwater runoff process. *Geoderma*, *363*, 114158. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114158

RheinEnergie. (2024). *Trinkwasserpreis für Köln steigt leicht zum 1. Januar 2025*. https://www.rheinenergie.com/ueber-uns/newsroom/presse/nachrichten/nachricht_73002.html

Rott, E. (2025). *Standardized modeling enables > systematic comparison of measures in AMAREX. Downloadable tool.* AMAREX Project. https://amarex-projekt.de/en/news/vergleichstool

Scheid, C., Neumann, J., & Dittmer, U. (in Veröffentlichung). *Schlussbericht zu Arbeitspaket 2 „Funktionserweiterung von RWB-Anlagen zur Starkregenvorsorge". Sachbericht zum Verwendungsnachweis (Teil II), Teilprojekt 1 des Verbundvorhabens AMAREX – Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse, Fördermaßnahme Wasserextreme (WaX) des BMFTR, FKZ: 02WEE1624A.* RPTU kaiserslautern-Landau.

Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, *12*(1), 6763. https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w

Seppanen, O., Fisk, W. J., & Faulkner, D. (2004). Control of temperature for health and productivity inoffices. *ASHRAE Transactions*, *111*(pt2). https://www.osti.gov/biblio/886957

Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2012). Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, *61*, 283–293. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043

Stadtentwässerungsbetriebe Köln. (2023). *Satzung des Kommunalunternehmens Stadtentwässerungsbetriebe Köln, Anstalt des öffentlichen Rechts über die Erhebung von Gebühren für die Entwässerung der Grundstücke und den Anschluss an die öffentliche Abwasseranlage sowie für die Entsorgung von Schmutzwassergruben—Abwassergebührensatzung (AbwGebS)* -. https://steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Satzungen/Abwassergeb%C3%BChrensatzungen/Abwassergebuehrensatzung_StEB_Koeln_2024.pdf

Tröltzsch, J., Bueb, B., Davis, M., Dicke, F., Knoblauch, D., Kupilas, B., Mederake, L., Naumann, S., Pumberger, M., Scholl, L., Vega, R. D. la, & Georgi, B. (2025). *Naturbasierte Lösungen für die kommunale Klimaanpassung stärken: Herausforderungen und Lösungsansätze. UBA-Vorhaben „Natürlich Klimaanpassung! Naturbasierte Lösungen für Kommunen"* [Report / Vorhaben]. Umweltbundesamt / Ecologic Institut.

Welling, M., Dehnhardt, A., Salecki, S., & Wagner, J. (2020). *Kosten und Nutzen von grünen Klimaanpassungsmaßnahmen in Bremen: Fokus Straßenbäume*. BRESILIENT.

Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008a). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, *42*(31), 7266–7273. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003

Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008b). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, *42*(31), 7266–7273. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003

7 Anhänge

Anhang 1 - 14 Kriteriensets und Einzelkriterien zur vertieften Analyse

Blobel, D., Tröltzsch, J., Peter, M., Bertschmann, D., & Lückge, H. (2016). *Vorschlag für einen Policy Mix für den Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel II* (UBA-Texte No. 19/2016). Umweltbundesamt.	• Klimawirkung • Notwendigkeit staatlichen Handelns • Zeitliche Dringlichkeit • Systemrelevanz • Effektivität • Kosten der Umsetzung • Umsetzbarkeit • Akzeptanz • Flexibilität bzgl Klimaszenarien • Synergien und Konflikte mit anderen Politikbereichen
Axelsson, C., Giove, S., & Soriani, S. (2021). Urban Pluvial Flood Management Part 1: Implementing an AHP-TOPSIS Multi-Criteria Decision Analysis Method for Stakeholder Integration in Urban Climate and Stormwater Adaptation. *Water*, *13*(17), 2422.	• Existing Legislative Framework • Project Feasaibility • Jurisdiction • Implementation Time • Public Costs • Private Costs • Funding Availability • Green Industry Growth • Stormwater Capacity • Stormwater Quality • Ecosystem Support • Energy Usage • Risk to Human Health and Safety • Civic Engagement • Reducing Inequalities • Synergies with other Adaptations
Kind, C., Buth, M., & Peters, M. (2015). *Gute Praxis der Anpassung an den Klimawandel in Deutschland* (CLIMATE CHANGE Report No. 22/2015). Umweltbundesamt.	• Wirksamkeit • Robustheit • Nachhaltigkeit • Finanzielle Tragbarkeit • Positive Nebeneffekte • Flexibilität
Dixit, A., & McGray, H. (2013). *Analyzing Climate Change Adaptation Options Using Multi-Criteria Analysis*. USAID.	• Community support • Effect on segment of population • Feasibility • Long-term solution • Secondary impacts • Staffing • Funding allocated • Maintenance and operations • Political support • Local champion • Public support • State authority • Potential legal challenge • Benefit of action • Cost of action

	• Contribution to economic goals • Effect on land/water • Effect on endangered species • Effect on hazardous materials and items/waste sizes • Consistent with community environmental goals
Mendizabal, M., Peña, N., García-Blanco, G., Feliu, E., Terenzi, A., Latinos, V., Peleikis, J., Anza Porras, B., Forino, G., Firus, K., Kropp, J., & Rybski, D. (2017). *RAMSES Transition Handbook and Training Package.*	• Human Health • Urban Comfort • Work Productivity • Traffic Disruption (Flooding) • Built Environment • Effectiveness • Flexibility • Efficiency • Feasibility
BINGO. (2019). *Guidelines: Prioritisation between adaptation measures.*	• Effects on groundwater dependant terrestrial nature in the area • Effects on aquatic nature • Effects on drinking water provision • Social acceptability and conflicting interests • Effect on risk on fires and erosion • Cultural history • Tourism and recreation • Effect on CO2 emissions and storage • Effect on public health (fine dust, bugs) • New economic potential on agriculture and forestry • Effect on ecosystem services provision • Technical feasibility/knowledge requirement • Justice and ethics (fair allocation and pricing of water/affordability) • Flexibility of the measure • Effects on labour
Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Plavšić, J., Doong, D.-J., Bahlmann, T., Alves, A., Tseng, L.-H., Randelović, A., Todorović, A., Kocic, Z., Beljinac, V., Wu, M.-H., Lo, W.-C., Perez-Lapeña, B., & Franca, M. J. (2021). Incorporating stakeholders' preferences into a multi-criteria framework for planning large-scale Nature-Based Solutions. *Ambio*, *50*(8), 1514–1531.	• Considered Hydrometeorological risk • Improve water quality in rivers/watercourses, lakes/ponds • Improve coastal water quality • Improve groundwater quality • Increase habitat area (quantity) • Habitat provision and distribution (quality) • To reflect ecological status and physical structure of habitats • Change in land use • To maintain and enhance biodiversity • Reduce disturbance to ecosystems • Increase recreational opportunities • Education and awareness about NBS • Maintain and if possible enhance cultural values • Accessibility • Improve community cohesion • Encourage new business models and other community benefits • Stimulate/increase economic benefits • Direct health and well-being impacts • Indirect health and well-being impacts
	• Hydraulic • Environmental

Yang, W., & Zhang, J. (2021). Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis. *Journal of Cleaner Production*, *293*, 126191.	• Life cycle cost • Hydraulic damage cost • Environmental damage cost • Recreational function • Biotope area ratio • Spatial consistency
Kompetenzzentrum Wasser Berlin. (2019). *netWORKS4—Bausteine Kriterien, N4Plus*.	• Ästhetische Werte • Gelegenheiten für Erholung • Umweltbildung • Aufenthaltsqualität • Urbanes Gärtnern • Luftreinhaltung • Lärmschutz • Klimaregulation • Wasserregulation/Natürlicher Wasserhaushalt • Wassereinigung (Gewässerschutz/Grundwasserschutz) • Erhaltung der biologischen Vielfalt • Ökologische Konnektivität • Überflutungsvorsorge • Bereitstellung von Nahrung und nachwachsenden Rohstoffen • Bereitstellung erneuerbarer Naturressourcen/Sicherstellung der Wasserversorgung • Koordinationsaufwand • Flächenbedarf • Klimaschutz • Direkte Kosten, Kosteneffizienz • Planungsmaßstab
Matzinger et al. (2017). *Interdisziplinäre Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung—Ergebnisse des Projektes KURAS*.	• Nutzen auf Gebäudeebene • Freiraumqualität • Stadtklima/Bioklima • Biodiversität • Grundwasseranreicherung • Grundwasserqualtiät • Oberflächengewässer • Kosten • Ressourcennutzung
BlueGreenStreets. (2022). *BlueGreenStreets Toolbox – Teil B. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere*. BlueGreenStreets Projektverbund.	• Wasserrückhalt • Anschließbare Fläche hN 15 mm / 35 mm • Stoffrückhalt AFS / AFS63 • Oberirdischer Noteinstau • Grünes Erscheinungsbild • Nutzbarkeit / Aufenthaltsqualität • Klimakomfort / Beschattung • Bewässerungspotenzial • Verdunstung • Veränderung der Lufttemperatur in der Nacht • Veränderung der Wärmebelastung am Tag
URBAN GreenUP Consortium Partners. (2018). *D1.1: NBS Catalogue*. URBAN GreenUP.	• Water management • Green space management • Air quality • Urban regeneration

	• Participatory planning and governance • Social justice and social cohesion • Public Health and Well-being • Climate change mitigation and adaptation • Potential of economic opportunities and green jobs
Kimic, K., & Ostrysz, K. (2021). Assessment of Blue and Green Infrastructure Solutions in Shaping Urban Public Spaces—Spatial and Functional, Environmental, and Social Aspects. *Sustainability*, *13*(19), 11041.	• Limitations on implementation/execution • Cost of implementation • Maintainance costs • Surface requirements • maintaining in good technical condition • preservation despite the passage of time • facility rank • additional functions • ability to combine with other BGI solutions • Air temperature • Elimination of air pollution • Removal of pollutants from rainwater • Fulfillment of ecosystem services • Diversity of plant species • Diversity of plant structures • Shaping biologically vital areas • Reduction of surface water runoff • Rainwater retention • Stromwater infiltration into the ground • use of low-emission materials, recycling • Recognition of visual values by the community • Possibility to foster social inclusion • Possibility to participate in the implementation and care
Croeser, T., Garrard, G., Sharma, R., Ossola, A., & Bekessy, S. (2021). Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges. *Urban Forestry & Urban Greening*, *65*, 127337.	• Reduce flood risk • Reduce heat island effects • Support urban renewal • Provide open green space • Support/re-introduce biodiversity • Improve public health and wellbeing • Barriers • Difficulty

Anhang 2 – Ergebnisübersicht Kosten-Nutzen-Analyse

Berlin 1 **Pilotgebiet**	**Nutzen in 1.000 €**													
	pro Ereignis	**pro Jahr**												
	Überflu-tungsschutz	Wasser-speiche-rung	Innenraum-temperaturregulation			Luftreinhaltung			Städtische Ästhetik & urbane Flora und Fauna			Regen-wasser-infiltration	**Gesamtnutzen** (ohne Überflutungsschutz)		
			min	med	max	min	med	max	min	med	max		min	med	max
RWB Versickerungsmulde	1.843 €	- €	- €	- €	- €	7 €	11 €	14 €	96 €	96 €	96 €	851 €	954 €	958 €	961 €
RWB+ Versickerungsmulde+	2.977 €	- €	- €	- €	- €	15 €	23 €	30 €	206 €	206 €	206 €	818 €	1.039 €	1.047 €	1.054 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	- €	221 €	- €	- €	- €	7 €	11 €	14 €	96 €	96 €	96 €	719 €	1.043 €	1.047 €	1.050 €
RWB Rigole	1.867 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	902 €	902 €	902 €	902 €
RWB+ Versickerungsrigole+	2.839 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	935 €	935 €	935 €	935 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	- €	221 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	106 €	327 €	327 €	327 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	2.143 €	- €	- €	- €	- €	4 €	6 €	8 €	55 €	55 €	55 €	865 €	924 €	926 €	928 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	2.982 €	- €	- €	- €	- €	10 €	15 €	21 €	140 €	140 €	140 €	848 €	998 €	1.003 €	1.009 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	- €	221 €	- €	- €	- €	4 €	6 €	8 €	55 €	55 €	55 €	106 €	386 €	388 €	390 €
RWB Optimierter Baumstandort	- €	- €	485 €	2.564 €	6.540 €	271 €	1.076 €	1.861 €	10.979 €	12.983 €	14.986 €	833 €	12.568 €	17.456 €	24.220 €
RWB+ Baumrigole	- €	- €	485 €	2.564 €	6.540 €	212 €	839 €	1.451 €	8.560 €	10.122 €	11.684 €	847 €	10.104 €	14.372 €	20.522 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	- €	221 €	485 €	2.564 €	6.540 €	69 €	273 €	473 €	2.791 €	3.301 €	3.810 €	737 €	4.303 €	7.096 €	11.781 €
RWB Extensives Gründach	2.788 €	- €	65 €	439 €	1.308 €	100 €	400 €	1.000 €	2.377 €	2.377 €	2.377 €	- €	2.542 €	3.216 €	4.685 €
RWB+ Intensives Gründach	2.978 €	- €	97 €	659 €	1.962 €	200 €	800 €	1.999 €	7.471 €	10.187 €	13.244 €	- €	7.768 €	11.646 €	17.205 €
RWB+ Retentionsdach	2.978 €	- €	65 €	439 €	1.308 €	100 €	400 €	1.000 €	2.377 €	2.377 €	2.377 €	- €	2.542 €	3.216 €	4.685 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	- €	221 €	65 €	439 €	1.308 €	100 €	400 €	1.000 €	2.377 €	2.377 €	2.377 €	106 €	2.869 €	3.543 €	5.012 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	- €	221 €	65 €	439 €	1.308 €	100 €	400 €	1.000 €	2.377 €	2.377 €	2.377 €	106 €	2.869 €	3.543 €	5.012 €
RWB Zisterne	860 €	221 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	106 €	327 €	327 €	327 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	2.762 €	221 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	106 €	327 €	327 €	327 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	2.423 €	221 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	106 €	327 €	327 €	327 €
Unsicherheit	*hoch*	*gering-mittel*	*hoch*			*hoch*			*hoch*			*gering-mittel*			

Berlin 1 **Pilotgebiet**	**Kosten in 1.000 € pro Jahr**									
	Investitionskosten			Betriebs- u. Instandhaltungskosten			Emissionen im Bau		**Gesamtkosten**	
	min	med	max	min	med	max	min	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	93 €	137 €	181 €	36 €	78 €	121 €	1 €	10 €	130 €	312 €
RWB+ Versickerungsmulde+	199 €	293 €	387 €	76 €	167 €	259 €	1 €	20 €	276 €	666 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	487 €	1.067 €	2.992 €	821 €	1.648 €	2.476 €	6 €	86 €	1.314 €	5.554 €
RWB Rigole	100 €	159 €	218 €	7 €	14 €	21 €	2 €	30 €	109 €	269 €
RWB+ Versickerungsrigole+	196 €	313 €	429 €	15 €	28 €	40 €	4 €	60 €	215 €	529 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	371 €	590 €	809 €	28 €	52 €	76 €	8 €	112 €	407 €	997 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	230 €	307 €	383 €	32 €	69 €	105 €	2 €	26 €	264 €	514 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	587 €	782 €	976 €	83 €	176 €	269 €	4 €	56 €	674 €	1.301 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	694 €	1.408 €	3.699 €	959 €	1.921 €	2.884 €	9 €	120 €	1.662 €	6.703 €
RWB Optimierter Baumstandort	351 €	1.229 €	2.108 €	998 €	1.497 €	1.997 €	8 €	110 €	1.357 €	4.215 €
RWB+ Baumrigole	1.013 €	2.068 €	3.245 €	834 €	1.271 €	1.708 €	6 €	86 €	1.853 €	5.039 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	483 €	1.246 €	3.346 €	1.057 €	1.984 €	2.912 €	8 €	104 €	1.548 €	6.362 €
RWB Extensives Gründach	436 €	872 €	1.308 €	452 €	905 €	1.357 €	9 €	121 €	897 €	2.786 €
RWB+ Intensives Gründach	2.149 €	4.298 €	6.447 €	3.971 €	7.941 €	11.912 €	25 €	342 €	6.145 €	18.701 €
RWB+ Retentionsdach	711 €	1.423 €	2.134 €	1.206 €	2.413 €	3.619 €	13 €	176 €	1.930 €	5.929 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	1.235 €	2.767 €	7.017 €	2.047 €	4.094 €	6.141 €	20 €	276 €	3.302 €	13.434 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	2.235 €	5.037 €	13.020 €	4.247 €	8.494 €	12.741 €	35 €	471 €	6.517 €	26.232 €
RWB Zisterne	393 €	933 €	2.810 €	785 €	1.570 €	2.355 €	18 €	243 €	1.196 €	5.408 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	1.071 €	2.540 €	7.651 €	2.137 €	4.274 €	6.411 €	24 €	331 €	3.232 €	14.393 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	708 €	1.679 €	5.059 €	1.413 €	2.826 €	4.239 €	16 €	219 €	2.137 €	9.517 €
Unsicherheit	*mittel*			*mittel*			*hoch*			

Berlin 1 **2500m² Dachfläche**	**Nutzen pro Jahr**												
	Wasser-speiche-rung	Innenraum-temperaturregulation			Luftreinhaltung			Städtische Ästhetik & urbane Flora und Fauna			Regen-wasser-infiltration	**Gesamtnutzen**		
		min	med	max	min	med	max	min	med	max		min	med	max
RWB Versickerungsmulde	- €	- €	- €	- €	20 €	30 €	40 €	250 €	250 €	250 €	2.180 €	2.450 €	2.460 €	2.470 €
RWB+ Versickerungsmulde+	- €	- €	- €	- €	40 €	60 €	80 €	520 €	520 €	520 €	2.090 €	2.650 €	2.670 €	2.690 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	560 €	- €	- €	- €	20 €	30 €	40 €	250 €	250 €	250 €	1.840 €	2.670 €	2.680 €	2.690 €
RWB Rigole	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	2.310 €	2.310 €	2.310 €	2.310 €
RWB+ Versickerungsrigole+	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	2.390 €	2.390 €	2.390 €	2.390 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	560 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	270 €	830 €	830 €	830 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	- €	- €	- €	- €	10 €	20 €	20 €	140 €	140 €	140 €	2.210 €	2.360 €	2.370 €	2.370 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	- €	- €	- €	- €	30 €	40 €	50 €	360 €	360 €	360 €	2.170 €	2.560 €	2.570 €	2.580 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	560 €	- €	- €	- €	10 €	20 €	20 €	140 €	140 €	140 €	270 €	980 €	990 €	990 €
RWB Optimierter Baumstandort	- €	1.240 €	6.550 €	16.710 €	690 €	2.740 €	4.750 €	28.010 €	33.120 €	38.230 €	2.130 €	32.070 €	44.540 €	61.820 €
RWB+ Baumrigole	- €	1.240 €	6.550 €	16.710 €	540 €	2.140 €	3.700 €	21.840 €	25.820 €	29.810 €	2.160 €	25.780 €	36.670 €	52.380 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	560 €	1.240 €	6.550 €	16.710 €	180 €	700 €	1.210 €	7.120 €	8.420 €	9.720 €	1.880 €	10.980 €	18.110 €	30.080 €
RWB Extensives Gründach	- €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	6.060 €	6.060 €	6.060 €	- €	6.490 €	8.200 €	11.950 €
RWB+ Intensives Gründach	- €	250 €	1.680 €	5.010 €	510 €	2.040 €	5.100 €	19.060 €	25.990 €	33.780 €	- €	19.820 €	29.710 €	43.890 €
RWB+ Retentionsdach	- €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	6.060 €	6.060 €	6.060 €	- €	6.490 €	8.200 €	11.950 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	560 €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	6.060 €	6.060 €	6.060 €	270 €	7.320 €	9.030 €	12.780 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	560 €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	6.060 €	6.060 €	6.060 €	270 €	7.320 €	9.030 €	12.780 €
RWB Zisterne	560 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	270 €	830 €	830 €	830 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	560 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	270 €	830 €	830 €	830 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	560 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	270 €	830 €	830 €	830 €
Unsicherheit	*gering-mittel*	*hoch*			*hoch*			*hoch*			*gering-mittel*			

Berlin 1 **2500m² Dachfläche**	**Kosten pro Jahr**									
	Investitionskosten			Betriebs- u. Instandhaltungskosten			Emissionen im Bau		**Gesamtkosten**	
	min	med	max	min	med	max	min	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	310 €	460 €	610 €	90 €	200 €	310 €	- €	20 €	400 €	940 €
RWB+ Versickerungsmulde+	670 €	980 €	1.300 €	190 €	430 €	660 €	- €	50 €	860 €	2.010 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	1.640 €	3.580 €	10.050 €	2.100 €	4.210 €	6.330 €	20 €	220 €	3.760 €	16.600 €
RWB Rigole	340 €	530 €	730 €	20 €	40 €	50 €	10 €	80 €	370 €	860 €
RWB+ Versickerungsrigole+	660 €	1.050 €	1.440 €	40 €	70 €	100 €	10 €	150 €	710 €	1.690 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	1.250 €	1.980 €	2.720 €	70 €	130 €	200 €	20 €	290 €	1.340 €	3.210 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	770 €	1.030 €	1.290 €	80 €	180 €	270 €	- €	70 €	850 €	1.630 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	1.970 €	2.630 €	3.280 €	210 €	450 €	690 €	10 €	140 €	2.190 €	4.110 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	2.330 €	4.730 €	12.430 €	2.450 €	4.910 €	7.370 €	20 €	310 €	4.800 €	20.110 €
RWB Optimierter Baumstandort	1.180 €	4.130 €	7.080 €	2.550 €	3.830 €	5.100 €	20 €	280 €	3.750 €	12.460 €
RWB+ Baumrigole	3.400 €	6.950 €	10.900 €	2.130 €	3.250 €	4.370 €	20 €	220 €	5.550 €	15.490 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	1.620 €	4.180 €	11.240 €	2.700 €	5.070 €	7.440 €	20 €	270 €	4.340 €	18.950 €
RWB Extensives Gründach	1.460 €	2.930 €	4.390 €	1.160 €	2.310 €	3.470 €	20 €	310 €	2.640 €	8.170 €
RWB+ Intensives Gründach	7.220 €	14.440 €	21.660 €	10.150 €	20.300 €	30.450 €	60 €	870 €	17.430 €	52.980 €
RWB+ Retentionsdach	2.390 €	4.780 €	7.170 €	3.080 €	6.170 €	9.250 €	30 €	450 €	5.500 €	16.870 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	4.150 €	9.300 €	23.570 €	5.230 €	10.460 €	15.690 €	50 €	710 €	9.430 €	39.970 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	7.510 €	16.920 €	43.740 €	10.850 €	21.710 €	32.560 €	90 €	1.210 €	18.450 €	77.510 €
RWB Zisterne	1.320 €	3.130 €	9.440 €	2.010 €	4.010 €	6.020 €	50 €	620 €	3.380 €	16.080 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	3.600 €	8.530 €	25.700 €	5.460 €	10.920 €	16.390 €	60 €	850 €	9.120 €	42.940 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	2.380 €	5.640 €	16.990 €	3.610 €	7.220 €	10.830 €	40 €	560 €	6.030 €	28.380 €
Unsicherheit	*mittel*			*mittel*			*hoch*			

Köln Kalk **Pilotgebiet**	**Nutzen in 1.000 € pro Jahr**												
	Wasser-speiche-rung	Innenraum-temperaturregulation			Luftreinhaltung			Städtische Ästhetik & urbane Flora und Fauna			Regen-wasser-infiltration	**Gesamtnutzen**		
		min	med	max	min	med	max	min	med	max		min	med	max
RWB Versickerungsmulde	- €	- €	- €	- €	5 €	7 €	10 €	48 €	48 €	48 €	714 €	767 €	769 €	772 €
RWB+ Versickerungsmulde+	- €	- €	- €	- €	9 €	14 €	19 €	93 €	93 €	93 €	721 €	823 €	828 €	833 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	84 €	- €	- €	- €	5 €	7 €	10 €	48 €	48 €	48 €	786 €	923 €	925 €	928 €
RWB Rigole	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	727 €	727 €	727 €	727 €
RWB+ Versickerungsrigole+	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	743 €	743 €	743 €	743 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	84 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	175 €	259 €	259 €	259 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	- €	- €	- €	- €	3 €	5 €	6 €	31 €	31 €	31 €	713 €	747 €	749 €	750 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	- €	- €	- €	- €	7 €	10 €	13 €	66 €	66 €	66 €	720 €	793 €	796 €	799 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	84 €	- €	- €	- €	3 €	5 €	6 €	31 €	31 €	31 €	175 €	293 €	295 €	296 €
RWB Optimierter Baumstandort	- €	369 €	1.950 €	4.976 €	189 €	748 €	1.294 €	5.537 €	6.547 €	7.558 €	751 €	6.846 €	9.996 €	14.579 €
RWB+ Baumrigole	- €	369 €	1.950 €	4.976 €	133 €	526 €	910 €	3.896 €	4.607 €	5.318 €	741 €	5.139 €	7.824 €	11.945 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	84 €	369 €	1.950 €	4.976 €	66 €	263 €	455 €	1.948 €	2.304 €	2.659 €	793 €	3.260 €	5.394 €	8.967 €
RWB Extensives Gründach	- €	49 €	334 €	995 €	76 €	304 €	759 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €	- €	1.435 €	1.948 €	3.064 €
RWB+ Intensives Gründach	- €	74 €	502 €	1.493 €	152 €	607 €	1.518 €	4.116 €	5.613 €	7.297 €	- €	4.342 €	6.722 €	10.308 €
RWB+ Retentionsdach	- €	49 €	334 €	995 €	76 €	304 €	759 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €	- €	1.435 €	1.948 €	3.064 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	84 €	49 €	334 €	995 €	76 €	304 €	759 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €	175 €	1.694 €	2.207 €	3.323 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	84 €	49 €	334 €	995 €	76 €	304 €	759 €	1.310 €	1.310 €	1.310 €	175 €	1.694 €	2.207 €	3.323 €
RWB Zisterne	84 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	175 €	259 €	259 €	259 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	84 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	175 €	259 €	259 €	259 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	84 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	175 €	259 €	259 €	259 €
Unsicherheit	*gering-mittel*	*hoch*			*hoch*			*hoch*			*gering-mittel*			

Köln Kalk **Pilotgebiet**	**Kosten in 1.000 € pro Jahr**									
	Investitionskosten			Betriebs- u. Instandhaltungskosten			Emissionen im Bau		**Gesamtkosten**	
	min	med	max	min	med	max	min	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	85 €	125 €	165 €	25 €	54 €	84 €	1 €	7 €	111 €	256 €
RWB+ Versickerungsmulde+	163 €	239 €	316 €	47 €	104 €	161 €	1 €	13 €	211 €	490 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	342 €	731 €	2.000 €	415 €	834 €	1.254 €	3 €	45 €	760 €	3.299 €
RWB Rigole	93 €	148 €	203 €	5 €	10 €	15 €	2 €	22 €	100 €	240 €
RWB+ Versickerungsrigole+	169 €	268 €	368 €	10 €	18 €	26 €	3 €	39 €	182 €	433 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	262 €	417 €	573 €	15 €	28 €	41 €	5 €	61 €	282 €	675 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	237 €	316 €	395 €	25 €	54 €	83 €	1 €	19 €	263 €	497 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	504 €	671 €	839 €	54 €	115 €	176 €	3 €	35 €	561 €	1.050 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	539 €	1.031 €	2.548 €	483 €	969 €	1.456 €	5 €	66 €	1.027 €	4.070 €
RWB Optimierter Baumstandort	321 €	1.125 €	1.929 €	695 €	1.043 €	1.390 €	6 €	76 €	1.022 €	3.395 €
RWB+ Baumrigole	837 €	1.708 €	2.681 €	524 €	799 €	1.073 €	4 €	54 €	1.365 €	3.808 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	370 €	1.005 €	2.514 €	652 €	1.179 €	1.707 €	5 €	65 €	1.027 €	4.286 €
RWB Extensives Gründach	436 €	872 €	1.308 €	344 €	688 €	1.032 €	7 €	92 €	787 €	2.432 €
RWB+ Intensives Gründach	2.149 €	4.298 €	6.447 €	3.021 €	6.042 €	9.063 €	19 €	260 €	5.189 €	15.770 €
RWB+ Retentionsdach	711 €	1.423 €	2.134 €	918 €	1.836 €	2.753 €	10 €	134 €	1.639 €	5.021 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	984 €	2.171 €	5.219 €	1.175 €	2.351 €	3.526 €	13 €	173 €	2.172 €	8.918 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	1.342 €	2.919 €	6.640 €	1.875 €	3.751 €	5.626 €	17 €	227 €	3.234 €	12.493 €
RWB Zisterne	257 €	609 €	1.836 €	390 €	780 €	1.170 €	9 €	121 €	656 €	3.127 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	760 €	1.803 €	5.431 €	1.154 €	2.308 €	3.462 €	13 €	179 €	1.927 €	9.072 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	463 €	1.097 €	3.304 €	702 €	1.404 €	2.106 €	8 €	109 €	1.173 €	5.519 €
Unsicherheit	*mittel*			*mittel*			*hoch*			

Köln Kalk **2500m² Dachfläche**	**Nutzen pro Jahr**												
	Wasser-speiche-rung	Innenraum-temperaturregulation			Luftreinhaltung			Städtische Ästhetik & urbane Flora und Fauna			Regen-wasser-infiltration	**Gesamtnutzen**		
		min	med	max	min	med	max	min	med	max		min	med	max
RWB Versickerungsmulde	- €	- €	- €	- €	20 €	20 €	30 €	160 €	160 €	160 €	2.400 €	2.580 €	2.580 €	2.590 €
RWB+ Versickerungsmulde+	- €	- €	- €	- €	30 €	50 €	60 €	310 €	310 €	310 €	2.420 €	2.760 €	2.780 €	2.790 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	280 €	- €	- €	- €	20 €	20 €	30 €	160 €	160 €	160 €	2.640 €	3.100 €	3.100 €	3.110 €
RWB Rigole	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	2.440 €	2.440 €	2.440 €	2.440 €
RWB+ Versickerungsrigole+	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	280 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	590 €	870 €	870 €	870 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	- €	- €	- €	- €	10 €	20 €	20 €	100 €	100 €	100 €	2.400 €	2.510 €	2.520 €	2.520 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	- €	- €	- €	- €	20 €	30 €	50 €	220 €	220 €	220 €	2.420 €	2.660 €	2.670 €	2.690 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	280 €	- €	- €	- €	10 €	20 €	20 €	100 €	100 €	100 €	590 €	980 €	990 €	990 €
RWB Optimierter Baumstandort	- €	1.240 €	6.550 €	16.710 €	630 €	2.510 €	4.350 €	18.600 €	21.990 €	25.390 €	2.520 €	22.990 €	33.570 €	48.970 €
RWB+ Baumrigole	- €	1.240 €	6.550 €	16.710 €	450 €	1.770 €	3.060 €	13.090 €	15.480 €	17.870 €	2.490 €	17.270 €	26.290 €	40.130 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	280 €	1.240 €	6.550 €	16.710 €	220 €	880 €	1.530 €	6.540 €	7.740 €	8.930 €	2.660 €	10.940 €	18.110 €	30.110 €
RWB Extensives Gründach	- €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	4.400 €	4.400 €	4.400 €	- €	4.830 €	6.540 €	10.290 €
RWB+ Intensives Gründach	- €	250 €	1.680 €	5.010 €	510 €	2.040 €	5.100 €	13.830 €	18.860 €	24.510 €	- €	14.590 €	22.580 €	34.620 €
RWB+ Retentionsdach	- €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	4.400 €	4.400 €	4.400 €	- €	4.830 €	6.540 €	10.290 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	280 €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	4.400 €	4.400 €	4.400 €	590 €	5.700 €	7.410 €	11.160 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	280 €	170 €	1.120 €	3.340 €	260 €	1.020 €	2.550 €	4.400 €	4.400 €	4.400 €	590 €	5.700 €	7.410 €	11.160 €
RWB Zisterne	280 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	590 €	870 €	870 €	870 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	280 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	590 €	870 €	870 €	870 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	280 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	590 €	870 €	870 €	870 €
Unsicherheit	*gering-mittel*	*hoch*			*hoch*			*hoch*			*gering-mittel*			

Köln Kalk **2500m² Dachfläche**	**Kosten pro Jahr**									
	Investitionskosten			Betriebs- u. Instandhaltungskosten			Emissionen im Bau		**Gesamtkosten**	
	min	med	max	min	med	max	min	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	290 €	420 €	550 €	80 €	180 €	280 €	- €	20 €	370 €	850 €
RWB+ Versickerungsmulde+	550 €	800 €	1.060 €	160 €	350 €	540 €	- €	40 €	710 €	1.640 €
RWB-N Versickerungsmulde m. (Retentions-)Zist.	1.150 €	2.460 €	6.720 €	1.390 €	2.800 €	4.210 €	10 €	150 €	2.550 €	11.080 €
RWB Rigole	310 €	500 €	680 €	20 €	30 €	50 €	10 €	70 €	340 €	800 €
RWB+ Versickerungsrigole+	570 €	900 €	1.240 €	30 €	60 €	90 €	10 €	130 €	610 €	1.460 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	880 €	1.400 €	1.920 €	50 €	90 €	140 €	10 €	200 €	940 €	2.260 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	800 €	1.060 €	1.330 €	90 €	180 €	280 €	- €	60 €	890 €	1.670 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	1.690 €	2.260 €	2.820 €	180 €	390 €	590 €	10 €	120 €	1.880 €	3.530 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element m. Zist.	1.810 €	3.460 €	8.560 €	1.620 €	3.260 €	4.890 €	20 €	220 €	3.450 €	13.670 €
RWB Optimierter Baumstandort	1.080 €	3.780 €	6.480 €	2.340 €	3.500 €	4.670 €	20 €	260 €	3.440 €	11.410 €
RWB+ Baumrigole	2.810 €	5.740 €	9.010 €	1.760 €	2.680 €	3.610 €	10 €	180 €	4.580 €	12.800 €
RWB-N Baumstandort m. (Retentions-)Zist.	1.240 €	3.380 €	8.450 €	2.190 €	3.960 €	5.730 €	20 €	220 €	3.450 €	14.400 €
RWB Extensives Gründach	1.460 €	2.930 €	4.390 €	1.160 €	2.310 €	3.470 €	20 €	310 €	2.640 €	8.170 €
RWB+ Intensives Gründach	7.220 €	14.440 €	21.660 €	10.150 €	20.300 €	30.450 €	60 €	870 €	17.430 €	52.980 €
RWB+ Retentionsdach	2.390 €	4.780 €	7.170 €	3.080 €	6.170 €	9.250 €	30 €	450 €	5.500 €	16.870 €
RWB-N Gründach m. (Retentions-) Zist.	3.300 €	7.290 €	17.530 €	3.950 €	7.900 €	11.850 €	40 €	580 €	7.290 €	29.960 €
RWB-N Retentionsdach mmit Zisterne	4.510 €	9.800 €	22.310 €	6.300 €	12.600 €	18.900 €	60 €	760 €	10.870 €	41.970 €
RWB Zisterne	860 €	2.050 €	6.170 €	1.310 €	2.620 €	3.930 €	30 €	410 €	2.200 €	10.510 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	2.550 €	6.060 €	18.240 €	3.880 €	7.750 €	11.630 €	40 €	600 €	6.470 €	30.470 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	1.550 €	3.680 €	11.100 €	2.360 €	4.720 €	7.080 €	30 €	370 €	3.940 €	18.550 €
Unsicherheit	*mittel*			*mittel*			*hoch*			

Ecologic Institut

www.ecologic.eu