

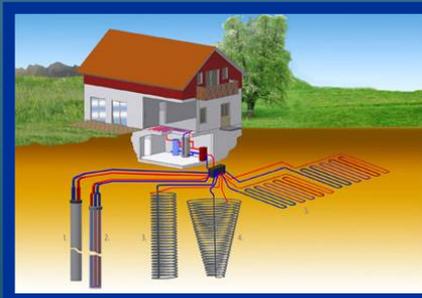
# REPORT

## Geothermie im (Klima-) Wandel

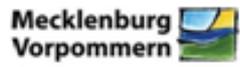
Betrachtung der Potenziale und Perspektiven  
geothermischer Energienutzung an der deutschen  
Ostseeküste unter dem Einfluss des Klimawandels

Cindy Dengler

RADOST-Berichtsreihe  
Bericht Nr. 11  
ISSN: 2192-3140



## Kooperationspartner

	<p>Büro für Umwelt und Küste, Kiel <b>BfUK</b></p>	 <p>Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin <b>IGB</b></p>
	<p>Geographisches Institut der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel <b>CAU</b></p>	 <p>Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde <b>IOW</b></p>
	<p>Coastal Research &amp; Management, Kiel <b>CRM</b></p>	 <p>Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin <b>IÖW</b></p>
	<p>Ecologic Institut, Berlin (Koordination) <b>Ecologic</b></p>	 <p>Landesbetrieb Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum <b>LKN</b></p>
	<p>EUCC – Die Küsten Union Deutschland, Warnemünde <b>EUCC-D</b></p>	 <p>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein <b>LLUR</b></p>
	<p>GICON – Großmann Ingenieur Consult GmbH – Niederlassung Rostock <b>GICON</b></p>	 <p>Mecklenburg Vorpommern Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg <b>StALU MM</b></p>
	<p>H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH, Rostock <b>HSW</b></p>	 <p>Universität Rostock, Fachgebiet Küstenwasserbau <b>URCE</b></p>
	<p>Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung <b>HZG</b></p>	 <p>Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsanstalt für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Braunschweig <b>vTI</b></p>
	<p>Institut für Angewandte Ökosystemforschung, Neu Broderstorf <b>IfaÖ</b></p>	

# REPORT

## GEOOTHERMIE IM (KLIMA-) WANDEL

BETRACHTUNG DER POTENZIALE UND PERSPEKTIVEN  
GEOOTHERMISCHER ENERGIENUTZUNG AN DER  
DEUTSCHEN OSTSEEKÜSTE UNTER DEM EINFLUSS DES  
KLIMAWANDELS

Cindy Dengler  
GICON – Großmann Ingenieur Consult GmbH

RADOST-Berichtsreihe  
Bericht Nr. 11

ISSN: 2192-3140

Rostock, März 2012



## Inhalt

<b>0</b>	<b>Vorwort .....</b>	<b>8</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Geothermie .....</b>	<b>13</b>
2.1	Das natürliche Potenzial der Geothermie .....	13
2.1.1	Temperaturregime im Untergrund.....	13
2.1.2	Untergrundeigenschaften .....	14
2.2	Das technische Potenzial der Geothermie .....	16
2.2.1	Technik.....	16
2.2.2	Recht.....	19
2.3	Das wirtschaftliche Potenzial der Geothermie .....	20
<b>3</b>	<b>Klima und Klimawandel .....</b>	<b>21</b>
3.1	Klima und Klimawandel an der deutschen Ostseeküste .....	22
3.1.1	Bisherige Klimaveränderungen.....	22
3.1.2	Mögliche Klimaänderungen bis 2100 .....	23
<b>4</b>	<b>Entwicklung der Potenziale der oberflächennahen Geothermie unter dem Einfluss des Klimawandels.....</b>	<b>26</b>
4.1	Einfluss des Klimawandels auf die Parameter des natürlichen Potenzials.....	27
4.1.1	Temperaturregime im Untergrund.....	27
4.1.2	Untergrundeigenschaften .....	28
4.1.3	Zusammenfassung: Folgen des Klimawandels für das natürliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie .....	29
4.2	Einfluss des Klimawandels auf die Parameter des technischen Potenzials .....	29
4.2.1	Technik.....	30
4.2.2	Recht.....	30
4.2.3	Zusammenfassung: Folgen des Klimawandels für das technische Potenzial der oberflächennahen Geothermie .....	31
4.3	Einfluss des Klimawandels auf die Parameter des wirtschaftlichen Potenzials.....	32
4.3.1	Zusammenfassung: Folgen des Klimawandels für das wirtschaftliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie .....	33
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>34</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>35</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Potenzialdefinitionen für erneuerbare Energien [vgl. WM M-V 2011] .....	9
Abbildung 2: Einfluss- bzw. Restriktionsbereiche bei der Nutzung erneuerbarer Energien .	10
Abbildung 3: Statistik zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2011 [BMU 2012] .....	11
Abbildung 4: Absatzzahlen von Heizungspumpen in Deutschland von 2005 bis 2010 [abgewandelt nach BWP 2011] nicht dargestellt in der Graphik, der Anstieg des Wärmepumpen-Absatzes im Jahr 2011 auf 57.000 Stück.....	12
Abbildung 5: schematische Darstellung der Quellen der Erdwärme .....	14
Abbildung 6: Jahrestemperaturverlauf im Untergrund [Gläser 2010] .....	14
Abbildung 7: schematische Darstellung einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage .....	17
Abbildung 8: Darstellung möglicher Formen von Erdwärmeübertragern: 1. Erdwärmesonde, 2. Energiepfahl, 3. Spiralkollektor, 4. Korbkollektor, 5. Flächenkollektor [erdwärme-infos.de] .....	18

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	mögliche spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmesonden	15
Tabelle 2:	Klimaänderungen an der deutschen Ostseeküste bis heute (2009) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)	23
Tabelle 3:	Mögliche Änderungen der Temperatur an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)	24
Tabelle 4:	Mögliche Änderungen des Niederschlags an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)	24
Tabelle 5:	Mögliche Änderungen der Luftfeuchte an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)	24
Tabelle 6:	Mögliche Änderungen der Windverhältnisse an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)	25
Tabelle 7:	Mögliche Änderungen der Bewölkung an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)	25
Tabelle 8:	Parameter mit Einfluss auf die Nutzung der oberflächennahen Geothermie	26

## 0 Vorwort

Die Vorkommen der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas verringern sich kontinuierlich. In absehbarer Zeit werden diese Energieträger verbraucht sein. Um die verbleibenden Ressourcen so effizient wie möglich zu nutzen, werden Anpassungsstrategien wie gesteigerte Energieeffizienz, Energieeinsparungen und der Umstieg auf andere Energiequellen entwickelt. Aufgrund der Endlichkeit der fossilen Energieträger, aber auch aus Sicht des Klima- und Umweltschutzes wird langfristig eine 100%ige Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen angestrebt. In diesem Sinn wird im Bereich der erneuerbaren Energien viel in die Forschung nach effizienten und innovativen Techniken sowie in die Anpassung rechtlicher Regelungen und technischer Richtlinien investiert.

Die erneuerbaren Energien stellen nach menschlichen Maßstäben unerschöpfliche Energiequellen dar. Dennoch können von ihrem natürlichen Dargebot bisher nur wenige Promille (Solarstrahlung, Wind) bis Prozente (Biomasse, Erdwärme) tatsächlich in Form von Strom oder Wärme genutzt werden. Die Potenziale der erneuerbaren Energien werden beeinflusst durch technischen Fortschritt und sich verändernden Rahmenbedingungen in Politik und Wirtschaft. Im Bereich der erneuerbaren Energien spricht man daher unter anderem von natürlichen, technischen und wirtschaftlichen Potenzialen der Energien.

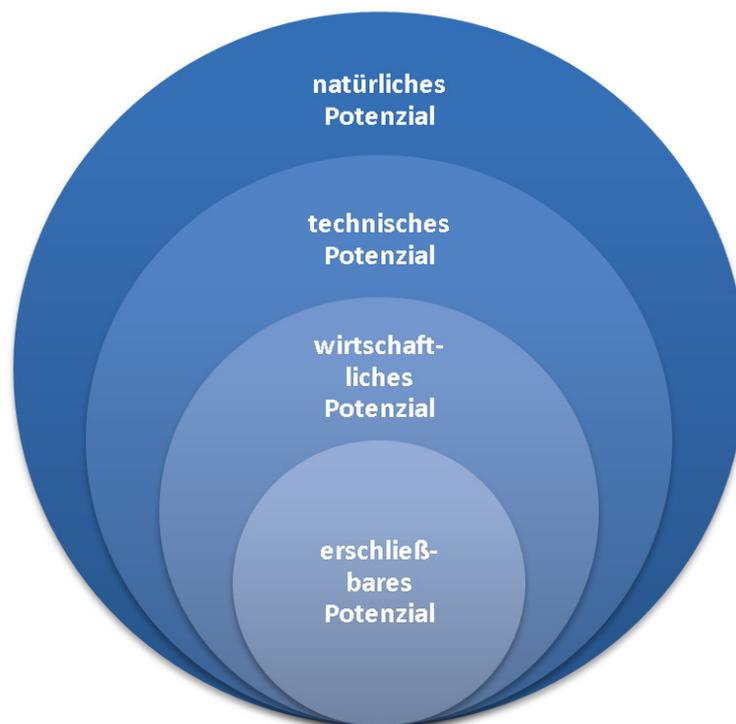
Als **natürliches Potenzial** erneuerbarer Energien wird das innerhalb einer Region und einem bestimmten Zeitraum theoretisch nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten nutzbare Energieangebot eines Energieträgers (Erdwärme, Wind, Sonneneinstrahlung oder Biomasse) bezeichnet. Synonym sind auch die Bezeichnungen theoretisches oder physikalisches Potenzial im Gebrauch. Mittels physikalischer Gesetze oder auch Naturgesetze werden Zustände und deren Änderungen eines physikalischen Systems (z.B. Klimasystem) mittels messbarer, eindeutig definierter physikalischer Größen bzw. Parameter oder Variablen beschrieben. Im Bezug auf den Klimawandel sind als Parameter z.B. Lufttemperatur, Niederschlag oder Windgeschwindigkeit zu nennen.

Das **technische Potenzial** umfasst den Anteil am natürlichen Potenzial, der hinsichtlich der aktuell besten am Markt verfügbaren Technik sowie unter Berücksichtigung struktureller und ökologischer Restriktionen sowie gesetzlicher Vorlagen nutzbar ist. Die wirtschaftliche Machbarkeit bleibt dabei unberücksichtigt. Technische Restriktionen ergeben sich aus den Grenzen für Wirkungsgrade, Anlagengrößen und dem technischen Entwicklungspotenzial der jeweiligen Nutzungstechnologien. Strukturell ergeben sich Nutzungseinschränkungen beispielsweise durch Ortsgebundenheit (Erdwärme) oder einem begrenztem Transportradius (Biomasse) der Energiequelle. Trotz ihrer Vorteile stellen Anlagen zur Nutzung der erneuerbaren Energien auch Eingriffe in die Natur und Landschaft dar, aus denen sich Beeinträchtigungen für diese ergeben können. Zum Schutz der Natur und Landschaft wird die Nutzung der Erneuerbaren durch ökologische Restriktionen eingeschränkt. Dies erfolgt hauptsächlich durch die Gesetzgebung (z.B. Raumplanung oder Schutzgesetze).

Das **wirtschaftliche Potenzial** umfasst den Anteil des technischen Potenzials, der wirtschaftlich konkurrenzfähig genutzt werden kann. Es ist abhängig von konkurrierenden Systemen sowie vom vorherrschenden Energiepreisgefüge und stellt im Idealfall die Kosten-Nutzen-Situation ohne Berücksichtigung von Fördermaßnahmen dar. Im Bereich der erneuerbaren Energien sind zum Ausgleich der vergleichsweise hohen Gesamtkosten (Investition, Betrieb und Entsorgung) noch Fördermaßnahmen (z.B. EEG-Einspeise-

vergütung) notwendig. In den meisten Fällen ergibt sich daher das wirtschaftliche Potenzial aus der Konkurrenzfähigkeit der gewinnbaren Energie inklusive der aus energiepolitischen Gründen vollzogenen Fördermaßnahmen.

Nach Abzug aller bisher genannten Restriktionen verbleibt das ausschöpfbare Potenzial der erneuerbaren Energien. Dieses wird jedoch selten vollständig realisiert, da zunächst noch subjektive Hemmnisse und Zeitverzögerungen die Ausnutzung vermindern. Subjektive Hemmnisse bzw. soziale Akzeptanzprobleme treten besonders deutlich bei der Diskussion um Windkraftanlagen und Landschaftsbild hervor. So wurden bereits Projekte aus landschaftsästhetischen Gründen nicht realisiert. Zeitverzögerungen entstehen u.a. durch die Prioritätensetzung von Investoren, die sich meist zuerst auf die Projekte mit maximalem Gewinn fokussieren. Abzüglich dieser Komponenten verbleibt das **erschließbare Potenzial** als der tatsächlich zu erwartende Beitrag zur Energieversorgung.

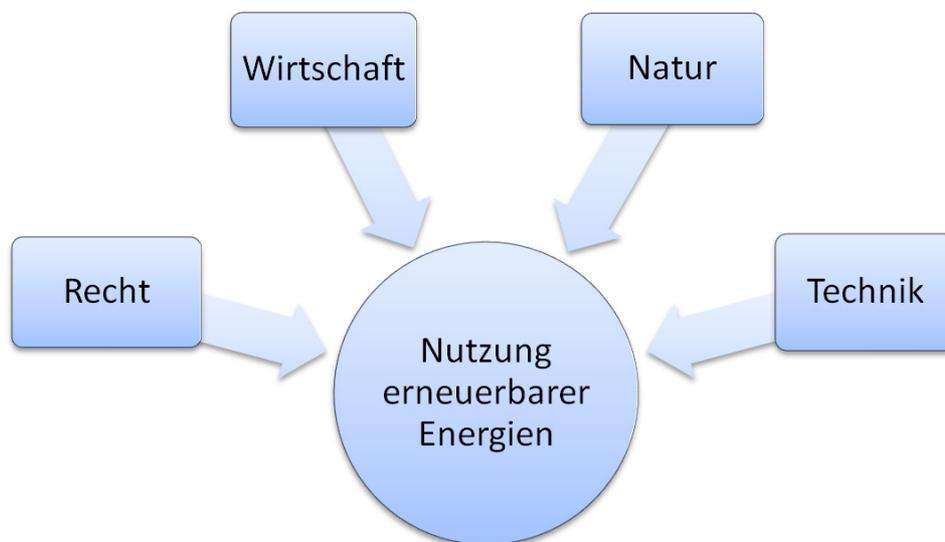


**Abbildung 1: Potenzialdefinitionen für erneuerbare Energien [vgl. WM M-V 2011]**

Anhand dieser Potenzialdefinitionen ist zu erkennen, dass die Möglichkeiten zur Nutzung der erneuerbaren Energien von vielen Parametern beeinflusst bzw. begrenzt werden. Diese Parameter lassen sich in die Bereiche Natur, Technik, Recht und Wirtschaft einordnen. Die technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Parameter sind das Ergebnis gesellschaftlicher Entscheidungen. So kann z.B. ein heute noch potenzieller aber verbotener Anlagenstandort durch Gesetzesänderungen morgen schon für die Nutzung wieder freigegeben werden oder andersrum. Wie viel vom erschließbaren Energiedargebot tatsächlich erschlossen wird, richtet sich vor allem nach der Höhe der Nachfrage.

Die Parameter, die das natürliche Potenzial der erneuerbaren Energien bestimmen, unterliegen physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die vom Menschen nicht bzw. nur im geringen Maße bewusst verändert werden können. Der Klimawandel und die dadurch hervorgerufenen Veränderungen der Umweltbedingungen sind laut derzeitigem Wissensstand

zwar zum größten Teil die Folge menschlichen Handelns, sie entziehen sich jedoch vollkommen der menschlichen Kontrolle. Die Veränderung von Umweltbedingungen bzw. -parametern kann sich direkt auf das natürliche Potenzial der erneuerbaren Energien auswirken. Aber auch indirekt kann der Klimawandel die Nutzung der Erneuerbaren beeinflussen. Um sich an unvermeidbare Veränderungen anpassen zu können, ist es wichtig zu wissen in wie weit der Klimawandel Auswirkungen auf die Potenzialparameter der erneuerbaren Energien und damit auf ihre Nutzungsmöglichkeiten haben wird.



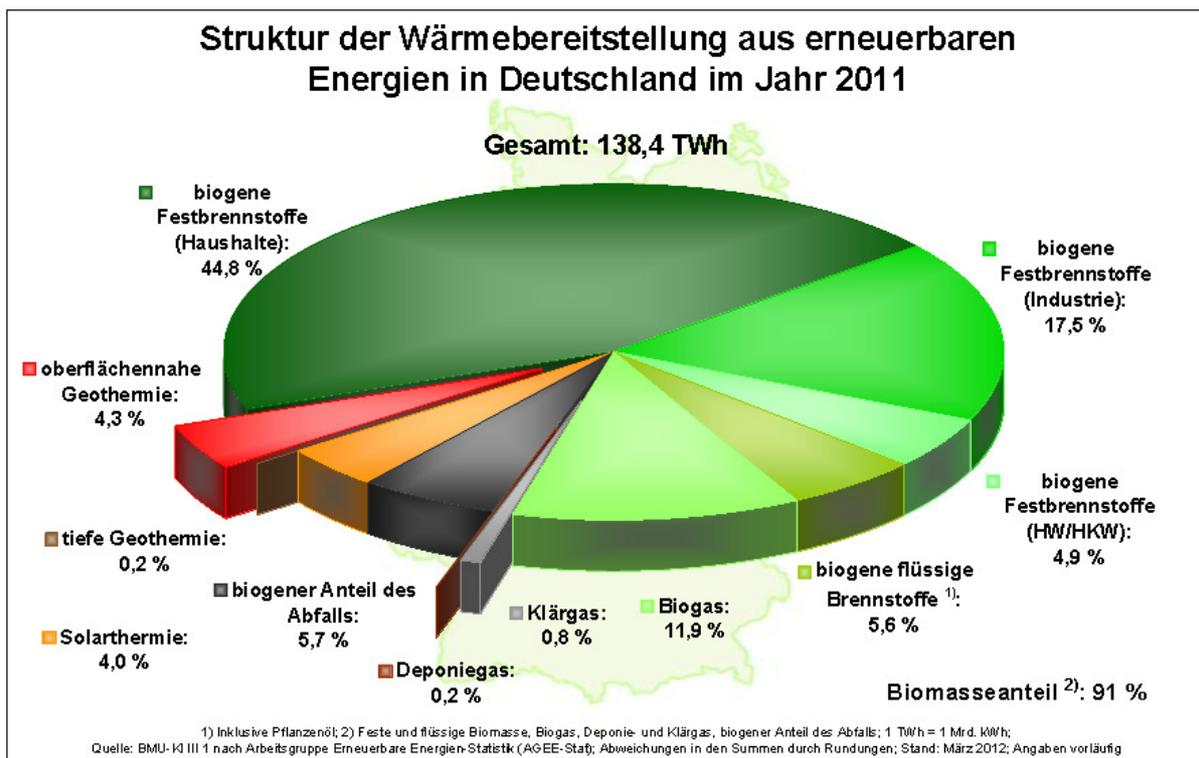
**Abbildung 2: Einfluss- bzw. Restriktionsbereiche bei der Nutzung erneuerbarer Energien**

Zielstellung in der Bearbeitung des Fokusthemas Erneuerbare Energien ist es, die Auswirkungen veränderter Umweltbedingungen (Klimawandel) auf die Potenziale einiger erneuerbaren Energieformen (Geothermie, Photovoltaik, Windenergie, Biogas) und damit auf die Möglichkeiten ihrer Nutzung zu prognostizieren und ggf. erforderlich werdende strategische Anpassungsempfehlungen zu erarbeiten. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Erzielung von Synergieeffekten bei möglichen Kombinationen der Nutzung Erneuerbarer Energien mit technischen Anlagen aus thematisch völlig anderen Bereichen gelegt werden.

Durch das Aufzeigen der zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Erneuerbaren Energienutzungen wird es Planern und Entwicklern in der Region ermöglicht, die Ergebnisse gerade bei langfristigen Planungsleistungen in ihre Planungen mit einzubeziehen bzw. eigene Strategien daraus abzuleiten. Dies betrifft nicht nur den Bereich der Erneuerbaren Energien. Ziel ist es, auch Planern und Projektentwicklern aus regional sehr typischen Wirtschaftszweigen, wie z.B. dem Küstenschutz oder maritimen Tourismus die Möglichkeit aufzuzeigen, wie durch eine innovative Herangehensweise die Nutzung der Erneuerbaren Energien von vornherein mit in die Projektplanungen (wie z.B. Küstenschutzanlagen bzw. touristischen Einrichtungen) einbezogen werden können. Hierfür wird insbesondere das Anwendungsprojekt zur Nutzung von Geothermie bei der Planung von Küstenschutzanlagen unter Einbeziehung von touristischen Einrichtungen initiiert und dabei regionale Planer als Dritte mit einbezogen.

## 1 Einleitung

Der Beitrag der erneuerbaren Energien an der gesamten Wärmebereitstellung in Deutschland im Jahr 2011 in Höhe von 138,4 Mrd. kWh wurde zu rund 91% durch Biomasse erbracht. Die Geothermie leistete einen Anteil von rund 4,5% und die Solarthermie ca. 4%. (s. Abbildung 3) Gegenüber dem Vorjahr 2010 erhöhte sich die Wärmebereitstellung aus Geothermie um 0,5%. Diese Steigerung spiegelt sich auch in den leicht erhöhten Wärmepumpen-Absatzzahlen aus 2011 wider. Nachdem in den Jahren 2009 und 2010 die Absatzzahlen merklich zurückgegangen waren (s. Abbildung 4), stieg der Verkauf von Wärmepumpen in 2011 auf ca. 57.000 Stück an.

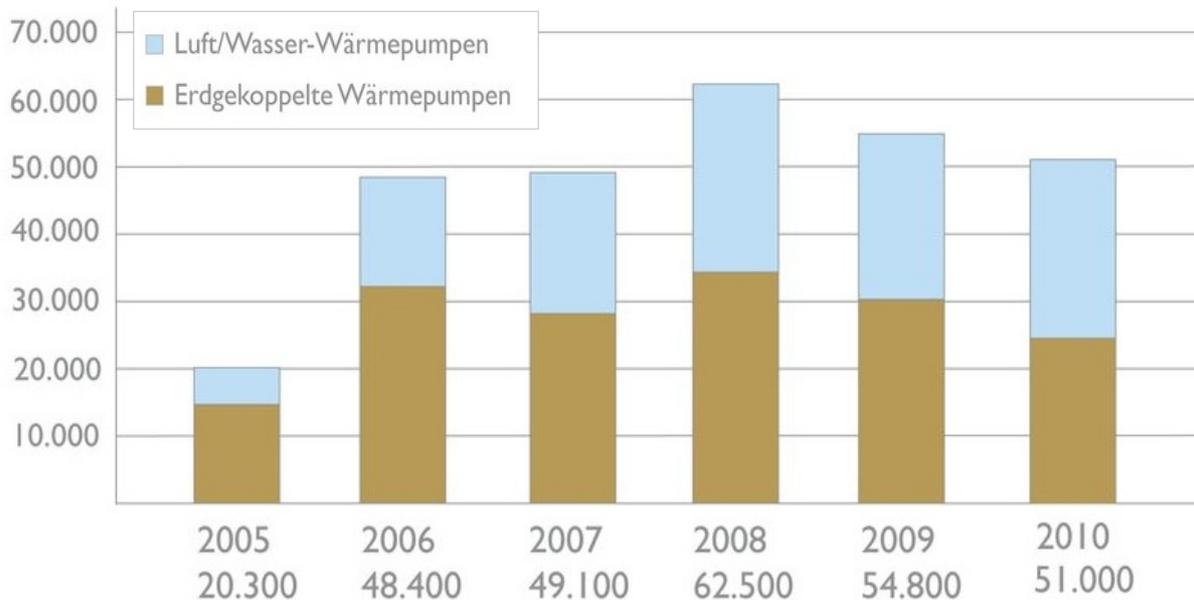


**Abbildung 3: Statistik zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2011 [BMU 2012]**

Mit 32.600 Stück wurden 2011 mehr Luft-Wärmepumpen verkauft als erdgekoppelte Wärmepumpen. Mit 24.400 Geräten lag der Absatz erdgekoppelter Wärmepumpen nur 0,7% über den Zahlen von 2010. Als einen Grund für die verhaltene Entwicklung der Absatzzahlen nimmt man u.a. die vielerorts komplizierte Genehmigungspraxis von Erdwärmepumpen an. [BWP 2012] Aber auch die im Vergleich zu herkömmlichen Heizsystemen relativ hohen Anschaffungskosten in Verbindung mit einer stockenden Förderungspolitik im Bereich der oberflächennahen Geothermie führt zu Verunsicherung beim Endverbraucher, der sich angesichts weltweiter Wirtschafts- und Finanzkrisen für weniger große oder gar keine Investitionen entscheidet.

Der Gesamtanteil der Erneuerbaren an der deutschlandweiten Wärmebereitstellung in 2011 betrug 10,4%. Der Beitrag der Geothermie daran betrug nur ca. 0,47%. Hinsichtlich der energiepolitisch angestrebten Energiewende sowie dem relativ großen technischen Potenzial

kann und muss der Anteil der Wärmebereitstellung aus Geothermie in Zukunft noch intensiver ausgebaut werden.



**Abbildung 4: Absatzzahlen von Heizungspumpen in Deutschland von 2005 bis 2010 [abgewandelt nach BWP 2011] nicht dargestellt in der Graphik, der Anstieg des Wärmepumpen-Absatzes im Jahr 2011 auf 57.000 Stück**

Für die Geothermienutzung sprechen viele Vorteile. Zum Beispiel ist Erdwärme theoretisch überall vorhanden und ständig verfügbar. Je tiefer man in die Erde geht, desto wärmer wird es. Bei einer sachgerechten Bewirtschaftung erweist sie sich als eine wirtschaftlich günstige, emissionsarme, erneuerbare und nachhaltige Energieform, die nach menschlichen Maßstäben unendlich zur Verfügung steht.

Vielfältig einsetzbar wird die thermische Energie aus dem Untergrund außer zum Heizen auch zum Kühlen oder zur Stromproduktion genutzt. Die für die Stromproduktion notwendigen Temperaturen werden erst in größeren Tiefen erreicht. Im Durchschnitt herrschen in ca. 1.000 m Tiefe Temperaturen um die 60°C und in ca. 2.000 m Tiefe Temperaturen bis 100°C. Die Nutzung der tiefen Geothermie erfolgt mit sehr aufwändiger und kostenintensiver Technologie. Sie ist nur in sehr großem Maßstab wirtschaftlich zu betreiben und daher für mittel- und kleinständische Investoren auf regionaler Ebene in ökonomischer Hinsicht uninteressant. Die tiefe Geothermie wird daher im Folgenden nicht näher erläutert.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der Analyse und Prognose der Potenziale der oberflächennahen Geothermie an der deutschen Ostseeküste. Dabei wurde folgende Vorgehensweise gewählt.

1. Erläuterungen zur Geothermie und ihren Potenzialparametern
2. Betrachtung des Klima und des Klimawandels an der deutschen Ostseeküste
3. Ermittlung eventueller Veränderungen der Potenzialparameter durch den Klimawandel und Schlussfolgerung der Entwicklungsperspektiven geothermischer Energienutzungen aufgrund veränderter Potenzialparameter

## 2 Geothermie

Aus dem Griechischen wird Geothermie („geos“ Erde, „thermie“ Wärme) mit Erdwärme übersetzt. Erdwärme ist die unter der Oberfläche der festen Erdkruste gespeicherte thermische Energie bzw. Wärme. [VDI 4640] Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [EEWärme-G, 2009] definiert den Begriff „Geothermie“ als die dem Erdboden entnommene Wärme.

Erdwärme ist theoretisch überall vorhanden und ständig verfügbar. Ihr natürliches Potenzial ist nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich. Aus dem Inneren unseres Planeten steigt ein ständiger Strom von Energie an die Oberfläche. Die Erde strahlt täglich etwa viermal mehr Energie in den Weltraum ab, als wir Menschen derzeit an Energie verbrauchen. [GtV] Dieses riesige natürliche Potenzial kann mithilfe der heutigen Technik (Erdwärmesonden, -kollektoren etc.) und auch aufgrund physikalischer Parameter (Wärmeleitfähigkeit, -speicherfähigkeit des Untergrundes) nur zu einem geringen Teil erschlossen werden. Neben den physikalischen Grenzen unterliegt der Anteil der technisch nutzbaren Erdwärme weiteren Restriktionen, die sich aus der Nutzungskonkurrenz knapper Ressourcen ergeben. Diese und weitere Parameter, die die Potenziale der Erdwärme beeinflussen, werden im Folgenden näher erläutert.

### 2.1 Das natürliche Potenzial der Geothermie

Das natürliche oberflächennahe geothermische Potenzial an einem Standort wird durch das vorhandene Temperaturregime im Untergrund und die Eignung des Untergrundes ihm die Wärme zu entziehen beeinflusst.

#### 2.1.1 Temperaturregime im Untergrund

Die Quellen der Erdwärme sind einerseits das Erdinnere und andererseits die Globalstrahlung sowie klimatische Einflüsse. Welche Temperaturen im Erdkern genau herrschen, ist nicht bekannt. Die Aussagen reichen von 4.000°C bis 7.000°C. Allgemein anerkannt ist, dass ca. 99% der Erdmasse heißer als 1.000°C und nur ca. 0,1% kälter als 100°C ist. Ein Teil dieser Wärmeenergie besteht aus dem Rest der Gravitationsenergie aus dem Entstehungsprozess der Erde vor 4,6 Milliarden Jahren; der andere Teil entsteht durch den Zerfall radioaktiver Isotope ständig neu.

Vom heißen Erdkern aus strahlt die Wärme durch die verschiedenen Erdschichten nach außen, in Richtung der Erdkruste, von wo aus der verbliebene Wärmerest in die Atmosphäre abgegeben wird. Die abgestrahlte Wärmemenge je Zeit- und Flächeneinheit entspricht der spezifischen Wärmestromdichte. Sie beträgt für die Kontinente ca. 65 mW/m<sup>2</sup> und für die Ozeane 101 mW/m<sup>2</sup>. Umgekehrt wird dieser zur Erdoberfläche gerichtete Wärmestrom auch als geothermischer Gradient bezeichnet. Er gibt die Temperaturzunahme in die Tiefe wieder und beträgt je nach vorliegenden geologischen Bedingungen ca. 2 bis zu 20°K pro 100 m Tiefenzunahme. Der durchschnittliche Wert für große Teile Deutschlands beträgt ca. 3°K/100 m. [GtV]

Im oberflächennahen Bereich der Erdkruste, das heißt in Tiefen bis ca. 15 m, werden die Temperaturen hauptsächlich durch klimatische Einflüsse, vorwiegend jedoch durch die

Globalstrahlung und die Lufttemperatur beeinflusst. In den oberen 5 m Erdoberfläche schwanken die Temperaturen jahreszeitenabhängig noch von 0 bis 20°C. Mit zunehmender Tiefe lässt der Klimaeinfluss nach und die Temperaturen stabilisieren sich. In etwa 20 m Tiefe herrschen ganzjährig konstante Temperaturen, welche im Allgemeinen der Jahresmitteltemperatur des jeweiligen Standortes entsprechen. In Deutschland betragen die Temperaturen in 10 – 20 m Tiefe daher ca. 8 – 12°C. Ab durchschnittlich 20 m Tiefe überwiegt der Einfluss des terrestrischen Wärmestroms bzw. der geothermische Gradient und die Temperaturen steigen um etwa 3°K je 100 m Tiefe.

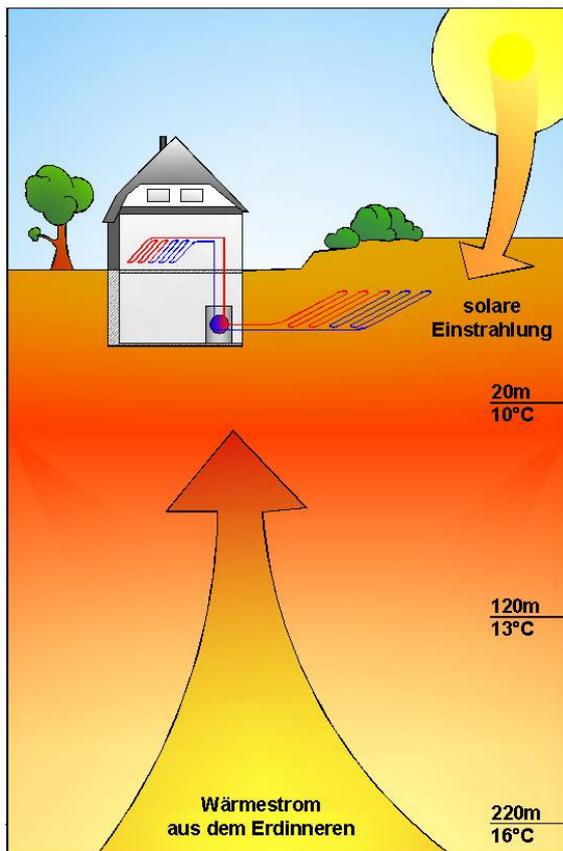


Abbildung 5: schematische Darstellung der Quellen der Erdwärme

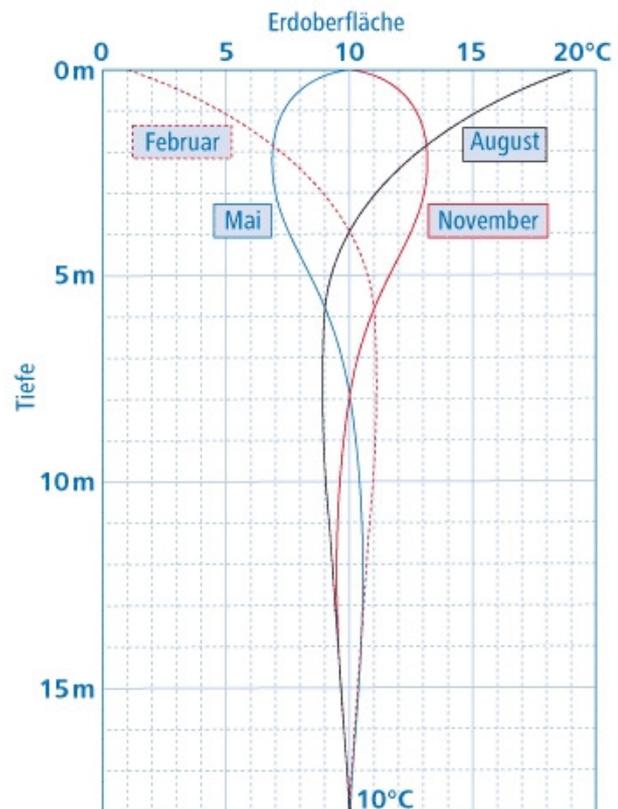


Abbildung 6: Jahrestemperaturverlauf im Untergrund [Gläser 2010]

### 2.1.2 Untergrundeigenschaften

Der Untergrund, bestehend aus Gesteinsmaterial sowie aus Luft und Wasser (Grund- und Bodenwasser) dient als Leit- und Speichermedium der Wärme. Die Möglichkeiten, dem Untergrund Wärme zu entziehen, werden durch seine thermophysikalischen wie auch hydrogeologischen Eigenschaften bestimmt.

Die wichtigsten thermophysikalischen Eigenschaften sind die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmespeicherfähigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit [ $W/m^*K$ ] reguliert Wärmenachschub des Untergrundes und gibt Aufschluss darüber, wie gut die Wärme dem Speicher bzw. dem Untergrund entzogen werden kann. Die Gesteine weisen sehr gute Wärmeleitfähigkeitswerte von 2-5  $W/m^*K$  auf. Wasser hat einen Wärmeleitfähigkeitswert von 0,6  $W/m^*K$  und Luft nur 0,02  $W/m^*K$ . Das heißt Wasser leitet die Wärme zwar schlechter als das Gestein, aber

immer noch besser als Luft. Aus diesem Grund ist die Wärmeleitfähigkeit des feuchten Erdreichs bedeutend höher als die des trockenen Erdreiches. Dieser Fakt spiegelt sich auch in den möglichen Wärmeentzugsleistungen von Erdwärmekollektoren oder –sonden im jeweiligen Untergrund wider. Eine Übersicht markanter Werte von spezifischen Wärmeentzugsleistungen von Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden für unterschiedlich beschaffenen Untergrund zeigt folgende Tabelle 1.

**Tabelle 1: mögliche spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmesonden**

	Beschaffenheit des Untergrundes	spezifische Wärmeentzugsleistung [W/m]	
		bei 1.800 h/a	bei 2.400 h/a
<b>Richtwerte</b>	trockenes Sediment ( $\lambda < 1,5 \text{ W/m}^*\text{K}$ )	25	20
	wassergesättigtes Sediment ( $\lambda = 1,5 - 3,0 \text{ W/m}^*\text{K}$ )	60	50
<b>einzelne Gesteine</b>	Kies, Sand; trocken	< 25	< 20
	wassergesättigt	65 – 80	55 – 65
	bei starkem GW-Fluss	80 – 100	80 – 100
	Ton, Lehm; feucht	35 – 50	30 – 40
	Sandstein	65 – 80	55 – 65
	Kalkstein (massiv)	55 – 70	45 – 60

Quelle: vgl. VDI 4640

Bei der Wärmespeicherfähigkeit liegt das Wasser mit einem Wert von  $4,19 \text{ kJ/kg}^*\text{K}$  vor dem Gestein ( $0,75-0,85 \text{ kJ/kg}^*\text{K}$ ). Das heißt, Wasser kann ca. fünf Mal mehr Wärmeenergie speichern als Gestein. Aus diesem Grund stellt die direkte thermische Nutzung des Grundwassers die effektivste Art der Nutzung von Erdwärme dar.

Da Wasser jedoch kein guter Wärmeleiter ist, sollte das direkt thermisch genutzte Grundwasser fließen. Die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers beeinflusst entscheidend die Wärmeregeneration innerhalb des Grundwasserkörpers. So würde im stehenden Gewässer durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des Wassers, die Wärmeregeneration nur sehr langsam vorangehen. Fließendes Wasser dagegen liefert ständig „neues“ warmes Wasser bzw. neue Wärmeenergie. Die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers hängt von der Durchlässigkeit des Bodens sowie dem hydraulischen Gradienten bzw. Gefälle ab. Je höhere Werte beide Parameter aufweisen, desto höher ist die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers.

Anströmendes Grundwasser, z.B. in grundwasserführenden Kies- und Sandschichten, begünstigt das kontinuierliche und gleichmäßige Heranführen von Wärme an den Erdwärmekollektor oder die Erdwärmesonde. Im umgekehrten Fall sorgt ein guter Grundwasserfluss bei der saisonalen Speicherung von Wärme mittels Erdwärmesonden für eine gute Verteilung der Wärme im Untergrund. Vor allem die in Mecklenburg-Vorpommern weit verbreiteten typisch eiszeitlichen Sedimentgesteine Sand und Kies weisen sehr gute Durchlässigkeitsbeiwerte auf.

Die direkte thermische Nutzung von Grundwasser ist jedoch nur solange effektiv und ökonomisch sinnvoll, solange ein gleichmäßiger und ergiebiger Zufluss von Grundwasser vorherrscht. Der Gehalt an Wasser im Untergrund wird u.a. entscheidend von der Menge des jährlich fallenden Niederschlags beeinflusst. Vorausgesetzt der Möglichkeit, dass die Niederschläge im Boden versickern können, herrscht bei ertragreichen Niederschlägen ebenfalls ein hoher Wasseranteil im Boden bzw. eine hohe Grundwasserbildung. Umgekehrt wirken sich fehlende Niederschläge negativ auf die Bodenwasserhaushaltsbilanz und damit auch auf die Effektivität der thermischen Nutzung des Untergrundes aus.

### **Parameter des natürlichen Potenzials der Geothermie**

Klimatische Parameter:

- Globalstrahlung
- Lufttemperatur
- Niederschlag

Thermophysikalische Parameter des Untergrundes:

- Wärmeleitfähigkeit
- Wärmespeicherfähigkeit
- spezifische Wärmestromdichte (aus dem Erdinneren)

Hydrogeologische Parameter des Untergrundes:

- Durchlässigkeit
- hydraulischer Gradient
- Wassergehalt des Bodens (Bodenwasser)

## **2.2 Das technische Potenzial der Geothermie**

Das technische Potenzial der oberflächennahen Erdwärme ist der Anteil des natürlichen Potenzials, der unter Berücksichtigung der Grenzen der Nutzungstechnologien sowie struktureller und ökologischer Restriktionen tatsächlich nutzbar gemacht werden kann.

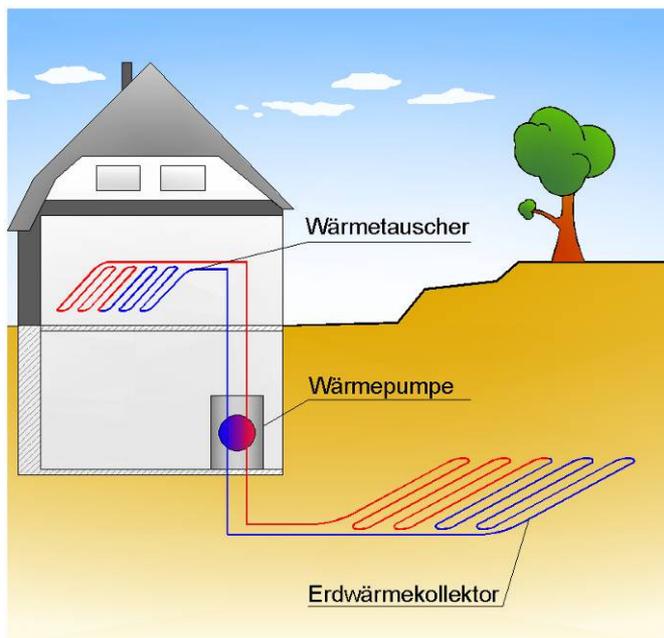
### **2.2.1 Technik**

Der Erduntergrund kann als Wärmequelle, Kältequelle sowie als thermischer Energiespeicher genutzt werden. [VDI 4640] Aufgrund dieser vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten, die sich nicht mehr nur auf die Verwendung der Erdwärme als Heizenergie begrenzt, wird allgemein von der thermischen Nutzung des Untergrundes gesprochen.

Die Anlagen zur thermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes sind grundsätzlich in zwei Systeme zur Erschließung der geothermischen Energie zu unterteilen. Dies sind zum einen die geschlossenen Erdwärmequellensysteme (Erdwärmekollektoren, -körbe, -sonden etc.) und zum anderen die offenen Grundwasser-Brunnenanlagen bzw.

geothermischen Dubletten. Zusammen mit der im Haus oder in Hausnähe installierten Wärmepumpe und dem Wärmenutzungssystem (Fußbodenheizung, Warmwasserbereitung) oder Raumklimatisierungssystem im Gebäude wird das Ganze als erdgekoppelte Wärmepumpenanlage bezeichnet.

Die Auslegung und Ausführung von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes erfolgt auf Basis der VDI-Richtlinie 4640 – Thermische Nutzung des Untergrundes. Ihre Bemessung richtet sich nach der geforderten Heiz- oder Kühllast des zu versorgenden Gebäudes, den Leistungszahlen der gewählten Wärmepumpe, der Anzahl der zu leistenden Volllaststunden und den spezifischen Entzugswerten des vorhandenen Untergrundmaterials.



#### Erdreichwärmeübertrager ...

... gibt es in Form von

- Erdwärmesonden,
- flächenhaften, korb- oder spiralförmigen Erdwärmekollektoren oder
- geothermisch aktivierte, erdberührte Betonbauteile.

Sie bestehen meist aus Kunststoffrohren, in denen eine Wärmeträgerflüssigkeit (Sole) zirkuliert, welche die Wärme des Erdreichs aufnimmt und an die

**Abbildung 7: schematische Darstellung einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage**

Die geschlossenen Erdwärmequellensysteme werden nach VDI 4640 auch Erdwärmeübertrager genannt. Es gibt sie in unterschiedlichen Formen. Jedoch bestehen alle gängigen Erdwärmeübertrager aus Kunststoffrohren, in denen eine Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser-Frostschutzmittelgemisch bzw. Sole) zirkuliert, welche dem umliegenden Erdreich die Wärmeenergie entzieht um sie der Wärmepumpe zuzuführen.

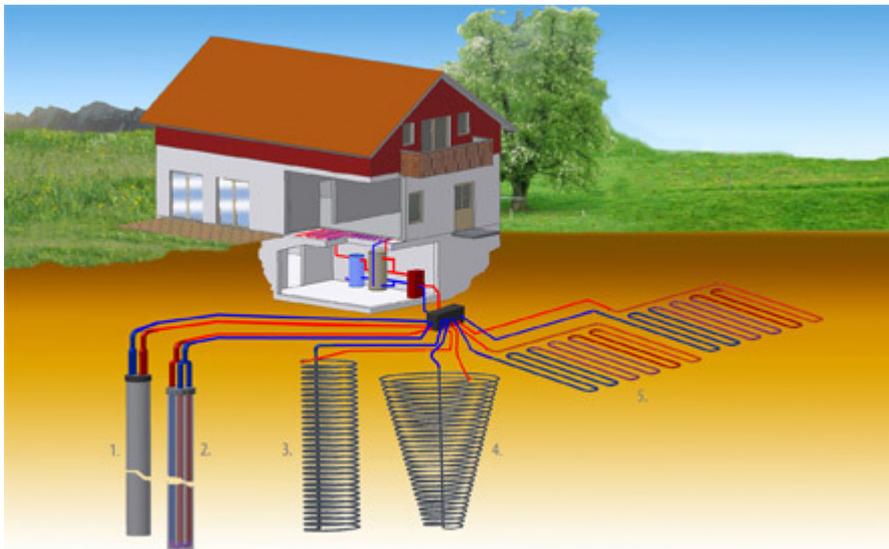
Erdwärmeflächenkollektoren bestehen aus einzelnen Kunststoffrohren, die mäanderförmig ca. 1,2 – 1,5 m tief horizontal im Untergrund verlegt werden. Der notwendige Flächenbedarf des Flächenkollektors richtet sich nach der Entzugsleistung des Untergrundes und dem Wärmebedarf des angeschlossenen Haushaltes bzw. der erforderlichen Heizarbeit der Wärmepumpe. Überschlägig kann der nötige Flächenbedarf mit dem Zweifachen der zu beheizenden Fläche im Haus angenommen werden.

Eine Abwandlung des Flächenkollektors sind Erdwärmekörbe oder auch sogenannte Spiralkollektoren. Als Spiralen in zylindrischer oder konischer Form kommen sie in einer Tiefe von einen bis fünf Metern zum Einsatz. Je nach Entzugsleistung des einzelnen Erdwärmekorbes (ca. 0,7 – 1 kW) und Heizwärmebedarf des Hauses werden mehrere Körbe in Baugruben eingebracht und mit vorhandenem Erdreich und Wasser eingeschlämmt.

Die in Deutschland am weitesten verbreitete Technik zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie sind Erdwärmesonden. Erdwärmesonden bestehen meist aus Doppel-U-Rohren aus Kunststoff (Polyethylen HD-PE). Sie haben einen Rohrdurchmesser von 25 – 40 mm (max. 70 mm) und werden in durchschnittlich 100 – 400 m tiefe Bohrlöcher eingebracht.

Eine weitere Form von Erdwärmetauscher ist der sogenannte Energiepfahl. Es handelt sich hierbei um Gründungspfähle aus Stahlbeton, an dessen Bewehrungsgerüst wasser- oder soleführende PE-Rohre angebracht sind. Das so thermisch aktivierte, erdberührte Betonelement funktioniert als geothermischer Absorber.

Grundwasser-Wärmepumpenanlagen bzw. sogenannte Grundwasserbrunnenn nutzen die im Grundwasser gespeicherte Erdwärme. Sie bestehen mindestens aus zwei Bohrungen bzw. Brunnen. Über den Förderbrunnen wird das benötigte Grundwasser abgepumpt und über den Schluckbrunnen dem jeweiligen Grundwasserleiter wieder zugeführt. Zu beachten ist dabei die Anordnung der Brunnen zueinander. Der Schluckbrunnen sollte in ausreichendem Abstand in Grundwasserfließrichtung nach dem Förderbrunnen angelegt werden. Die Brunnentiefen liegen im Allgemeinen bei 20 bis 50 m.



**Abbildung 8: Darstellung möglicher Formen von Erdwärmeübertragern: 1. Erdwärmesonde, 2. Energiepfahl, 3. Spiralkollektor, 4. Korbkollektor, 5. Flächenkollektor [erdwärme-infos.de]**

Der Flächenbedarf bei der thermischen Nutzung des Untergrundes richtet sich nach dem gewünschten Anwendungsprofil und der gewählten Form des Erdwärmeübertragers. Der größte Flächenbedarf entsteht beim Einsatz von Flächenkollektoren, der geringste bei Erdwärmesonden. Die Fläche über den eingebauten Erdwärmekollektoren ist gartenbautechnisch nutzbar, sollte jedoch nicht versiegelt werden, da die Regeneration der Erdwärme durch Sonne, Luft und Niederschlag dann nicht mehr gegeben wäre. Die Fläche über Erdwärmesonden kann überbaut werden, da sie tiefer als 20 m in den Untergrund reichen und nicht mehr von der Wärmeregeneration durch klimatische Einflüsse abhängig sind. Allerdings sollte bei der Bemessung der Erdwärmesonde beachtet werden, dass sich bei Versiegelung der Erdoberfläche die Wärmeentzugswerte in den ersten 20 m der Sonde mit der Zeit verringern werden.

Da (Erd-)Wärme schlecht über weite Entfernungen zu transportieren ist, wird sie meist im kleineren Maßstab für die Versorgung einzelner Gebäude vor Ort erschlossen (Ortsgebundenheit). Die Erdwärmeübertrager werden dafür üblicherweise gebäudenah auf demselben Grundstück errichtet. Bei der Bemessung der verfügbaren Fläche ist unbedingt auf einzuhaltende technische und evtl. baurechtliche Abstandsregelungen zu achten. So ist beispielsweise bei der Anordnung von Erdwärmesonden untereinander ein Abstand von ca. 2-5 m einzuhalten. Dieser Abstand ist ebenfalls zur Grundstücksgrenze einzuhalten, um eine ungestörte thermische Nutzung auch auf dem Nachbargrundstück zu ermöglichen.

Die Verfügbarkeit von Flächen für die thermische Nutzung des Untergrundes wird durch Nutzungskonkurrenz stark eingeschränkt. Flächen mit Bebauung, Infrastrukturelementen wie Versorgungsleitungen für Strom, Gas, Wasser usw. oder anderen etwaigen Hindernissen für das Bohrgerät (z.B. Felsenformationen im Untergrund) sind von einer möglichen geothermischen Nutzung ausgeschlossen. Des Weiteren verringert sich die Flächenverfügbarkeit durch den Ausschluss gesetzlich geschützter Gebiete.

### 2.2.2 Recht

Bohrungen für Grundwasserbrunnen und Erdwärmesonden stellen mit Tiefen von durchschnittlich 20 bis 250 m einen nicht unerheblichen Eingriff in den Untergrund und teilweise auch in den Grundwasserhaushalt dar. Entsprechend der betroffenen Bereiche Boden und Wasser sind für die Planung und Errichtung von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes berg- und wasserrechtliche Vorschriften zu beachten.

Erdwärme gilt gemäß dem Bundesberggesetz als sogenannter bergfreier Bodenschatz, für dessen „Gewinnung“ es grundsätzlich einer bergrechtlichen Bewilligung bedarf. Ausgenommen davon sind kleinere Anlagen zur privaten thermischen Nutzung des Untergrundes, die nicht tiefer als 100 m in den Untergrund reichen. Bohrungen für Erdwärmesonden, die tiefer als 100 m in den Untergrund reichen, unterliegen mindestens der bergrechtlichen Anzeigepflicht. [Benz 2009]

Einer wasserrechtlichen Anzeigepflicht unterliegen alle Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes. Während der Betrieb von offenen geothermischen Anlagen (Grundwasserbrunnen) generell einer wasserrechtlichen Genehmigung bedarf, hängt die Notwendigkeit einer Genehmigungspflicht für geschlossene geothermische Systeme vom jeweiligen wasserrechtlichen Benutzungsstatbestand ab. Flächenkollektoren z.B. bedürfen aufgrund ihrer geringreichenden Tiefe in den Untergrund (ca. 2 m) keiner wasserrechtlichen Genehmigung. [Benz 2009] Umgekehrt können auch die hydrogeologischen Umstände zu einer Einschränkung bzw. auch zu einem Verbot der Nutzung der Erdwärme in einem Gebiet führen. So sind in Trinkwasserschutzzonen I und II die Errichtung und der Betrieb von Geothermie-Anlagen nicht erlaubt.

### **Parameter des technischen Potenzials der Geothermie**

Das technisch nutzbare Potenzial der Geothermie wird vor allem von folgenden Parametern beeinflusst:

- Leistungsfähigkeit der technischen Anlagen (z.B. Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe)
- Art der Anwendung (Heizen, Kühlen, Speichern)
- Höhe des Energiebedarfs (Heizlast, Kühllast, Anzahl der Volllaststunden)
- Flächenverfügbarkeit abzüglich bautechnischer und -rechtlicher Restriktionen sowie gesetzlich geschützter Gebiete (vor allem Gewässerschutz)

## **2.3 Das wirtschaftliche Potenzial der Geothermie**

Die Kosten der direkten Nutzung der Erdwärme in Deutschland sind generell abhängig vom Standort, der Architektur und den Baumaterialien. In der Anschaffung fallen Wärmepumpen-Heizanlagen teurer aus als in der Leistung vergleichbare Gas- oder Öl-Heizsysteme. Die Kosten variieren je nach Größe, Leistungsstärke und Qualität der Anlagen. Die jährlichen Betriebskosten (vor allem Energiekosten für die Pumpe, Wartung, Zählergebühr) von Wärmepumpenheizanlagen sind dagegen bis zu 70% günstiger als bei herkömmlichen Heizanlagen. Grund dafür ist vor allem die kostenlose geothermische Energie, die bis zu 75% der produzierten Heizenergie ausmacht. Zudem fallen bei einer qualitativen Wärmepumpenheizung mit Erdwärmesonde und Fußbodenheizung der bei Öl- oder Gasbrennwertheizungen notwendige Tankraum, Kamin, Ölbehälter, Jahresservice, Rauchfangkehrer etc. weg. Bei der Finanzierung von Geothermie-Anlagen können Investoren mit finanzieller Unterstützung durch Bund, Länder und Kommunen rechnen. Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) bietet Zuschüsse zu den Investitionskosten bei der Anschaffung einer effizienten Wärmepumpe an. Die KfW-Förderbank stellt im Rahmen einiger Förderprogramme, unter Einhaltung entsprechender Bedingungen, den Investoren zinsverbilligte Darlehen zur Verfügung.

Je nach Betriebsbedingungen können sich Anlagen, die die oberflächennahe Geothermie nutzen, schon nach fünf Jahren amortisiert haben. Begünstigend wirken sich in jedem Fall ein energiesparsames Verhalten der Verbraucher, eine gute Wärmedämmung des Gebäudes sowie eine an die hydrogeologischen und thermophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes angepasste Erdwärmequellenanlage aus.

### **Parameter des wirtschaftlichen Potenzials der Geothermie**

Das wirtschaftliche Potenzial der Geothermie wird vor allem von folgenden Parametern beeinflusst:

- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Gewinn
- Fördermittel

### 3 Klima und Klimawandel

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) definiert das Klima als die Zusammenfassung aller Wettererscheinungen, die den durchschnittlichen Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort bzw. in einer Region charakterisieren. Es wird repräsentiert durch die statistischen Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerwerte u.a.) von Wetterelementen über einen genügend langen Zeitraum (ca. 30 Jahre). Als Wetter- oder auch Klimaelemente gelten u.a. die physikalischen Parameter Lufttemperatur, -feuchtigkeit und Luftdruck, solare Strahlung, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Bewölkung. Die Mittelwerte der Klimaelemente aus dem Zeitraum 1961 – 1990 werden als "Normalwerte" bezeichnet. Dieser Zeitraum wurde von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) als international gültige Referenzperiode festgelegt. [DWD]

Der Begriff „Klimawandel“ ist ein von den Medien unserer Zeit geprägter Begriff. Unter ihm wird die Änderung des Klimas verstanden, die direkt oder indirekt aus den Aktivitäten der Menschen, die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändernd, resultiert. Zusätzlich kommen die über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzu. [IPPC 2007] Der Klimawandel zeigt sich bisher in ungewöhnlich stark veränderten Durchschnittswerten und Variabilität von Klimaelementen. Am deutlichsten ist dies anhand des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur um 0,8°C seit dem Jahr 1990 zu erkennen. Aus diesem Grund wird im Zusammenhang mit dem Klimawandel häufig auch von der globalen Erwärmung gesprochen.

Um der anthropogen verstärkten globalen Erwärmung entgegenzuwirken und potenzielle Folgen abzumildern oder zu verhindern, wurde bisher intensiv Klimaschutz (Mitigation) betrieben. Eine sehr bekannte Klimaschutzmaßnahme ist z.B. die Minderung von Treibhausgasemissionen durch die Nutzung von erneuerbaren Energien statt fossiler Energieträger. Da nach dem derzeitigen Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse der Klimawandel nicht mehr aufzuhalten ist, sind Maßnahmen zur Anpassung (Adaption) notwendig um die Schäden für die natürlichen und anthropogenen Systeme so gering wie möglich zu halten. Für die Entwicklung und Durchführung entsprechender Anpassungsmaßnahmen müssen die zu erwartenden Klimafolgen und ihre Auswirkungen auf wichtige Bereiche wie die Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Küsten- und Hochwasserschutz, Biodiversität und Naturschutz, Gesundheit, Energie etc. bekannt sein.

Welche Klimaveränderungen und deren Folgen uns in Zukunft noch erwarten, versucht man mittels einer Vielzahl an Bemessungen, Berechnungen und Klimamodellierungen (z.B. REMO, WETTREG) herauszufinden. Jedoch sind nahezu alle bisherigen Prognosen über die zukünftige Entwicklung des Klimas mit großen Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten resultieren zum einen aus der begrenzten Kenntnis über das Klimasystem sowie der externen Einflussfaktoren auf das Klima. Zum anderen sind sie in den Defiziten von Klimamodellen begründet.

Trotz dieser Unsicherheiten lassen sich auf der Grundlage bisheriger Erfahrungen sowie der gegenwärtigen Klimasituation jedoch u.a. folgende Tendenzen des Klimawandels erkennen und ableiten:

- ansteigende Temperaturen der erdnahen Atmosphäre sowie der Meere bzw. Oberflächengewässer

- veränderte Niederschlagsverhältnisse (langfristig abnehmender Trend bei Sommerniederschlägen; zunehmende Winterniederschläge)
- Anstieg des Meeresspiegels u.a. aufgrund schmelzender Gletscher und Eisschilde
- häufigere und intensivere Extremwetterereignisse (High-Impact-Weather) z.B. Starkregenereignisse, Hitzewellen, Tornados etc.

### 3.1 Klima und Klimawandel an der deutschen Ostseeküste

Das Gesamtgebiet von Deutschland gehört zum warm-gemäßigten Regenklima der mittleren Breiten. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,2°C und die durchschnittliche Sonnenscheindauer 1.528 Stunden im Jahr. Die überwiegend westlichen Winde bringen ganzjährig feuchte Luftmassen vom Atlantik heran und damit Niederschlagsmengen bis zu 789 l/m<sup>2</sup> im Jahr. Der ozeanische Einfluss sorgt in der Regel für milde Winter und nicht zu heiße Sommer. Das Klima in Mecklenburg-Vorpommern ist sehr kontinental geprägt. Im Landesinneren herrschen relativ große Temperaturunterschiede zwischen Winter und Sommer. An der Küste ist der Jahresgang der Temperaturen hingegen gedämpft, wobei die Temperaturminima und -maxima verzögert sind. Das Klima in Schleswig-Holstein ist auf Grund der Lage zwischen Nord- und Ostsee stark ozeanisch geprägt mit relativ geringen Temperaturjahresgängen. Die Temperaturminima und -maxima treten verhältnismäßig spät auf. Die Niederschlagsmengen sind sehr hoch. Vor allem im Herbst sorgen die warmen Meeresflächen für kräftigen Feuchtenachschub und entsprechende Regenfälle.

Hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen liegt die Ostseeküste im bundesweiten Mittelfeld. Allerdings gehört die Ostseeküste zu den sonnenreichsten Gegenden Deutschlands. Mit durchschnittlich 1.648 Sonnenstunden lag Mecklenburg-Vorpommern z.B. im Jahr 2009 an erster Stelle. Im Jahr 2010 war mit insgesamt 1.827 Sonnenstunden die Greifswalder Oie der sonnigste Ort in Deutschland. [DWD 2011] Grund für die Wolkenarmut an der Ostseeküste ist zum einen die Tatsache, dass Tiefdruckgebiete meist sehr schnell über die Ostseeregion hinweg ziehen. Die in Küstengebieten durchschnittlich stärkeren Winde lassen Wolkendecken auch schnell wieder aufreißen. Zudem haben sich Regenwolken schon häufig im Westen abgeregnet. Im Winter wirkt sich die Nähe zu skandinavischen Hochdruckgebieten so aus, dass sich Wolken weiträumig auflösen. Im Sommer verdunstet aus dem kühlen Meer weniger Wasser. Deshalb bilden sich in der Ostseeregion weniger Wolken als im Binnenland.

#### 3.1.1 Bisherige Klimaveränderungen

Wie sehr sich das Klima in Deutschland und insbesondere in M-V und S-H verändert hat, geht aus den langjährig dokumentierten Messdaten des Deutschen Wetterdienstes hervor. So ist z.B. zu erkennen, dass in der deutschen Ostseeregion die Klimaerwärmung bisher weniger stark ausgeprägt ist als in anderen Regionen Deutschlands. Mit 0,4°C ist der Temperaturanstieg in Mecklenburg-Vorpommern einer der geringsten. Der Temperaturanstieg in Schleswig-Holstein beträgt 0,8°C und liegt damit genau im Trend der weltweiten mittleren Erwärmung. Infolge der Erwärmung stieg auch die Anzahl der Sommertage sowie der tropischen Nächte. Die Anzahl der Frosttage nahm ab. Im Vergleich

zu den 1940er Jahren wurden in den letzten Jahren bis zu 10 Sommertage mehr und bis zu 20 Frosttage weniger gezählt.

Wie die Temperaturen so haben auch die durchschnittlichen Niederschlagsmengen in Deutschland zugenommen. Deutschlandweit betrug die Zunahme bisher 8%. Schleswig-Holstein liegt mit 10 bis 13% weit über dem bundesweiten Durchschnitt. In Mecklenburg-Vorpommern ist dagegen mit 1,5% eine sehr geringe Zunahme zu verzeichnen. Insgesamt nimmt der Niederschlag besonders in den Wintermonaten zu. In den Sommermonaten bleiben die Niederschläge relativ konstant oder zeigen leicht abnehmende Tendenzen. In Schleswig-Holstein ist dagegen auch im Sommer eine Zunahme an Niederschlägen zu verzeichnen.

**Tabelle 2: Klimaänderungen an der deutschen Ostseeküste bis heute (2009) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)**

Klimaelemente	BRD	M-V	S-H
durchschnittliche Temperatur	+0,8°C	+0,4°C	+0,8°C
absolute Niederschlagsmenge	+8%	+1,5%	+10-13%
Windverhältnisse	keine Änderungen	keine Änderungen	keine Änderungen
Sonnenscheindauer	zunehmend	zunehmend	zunehmend

*Quelle: zusammengestellt aus Daten des DWD*

Eine systematische Veränderung der Windverhältnisse in Deutschland bzw. an der deutschen Ostseeküste konnte bisher nicht festgestellt werden. Die Sonnenscheindauer erfährt dagegen deutschlandweit seit den 1990er Jahren einen relativ starken Aufwärtstrend. Besonders auffällig ist die sehr geringe Anzahl von Jahren ab 1990 in denen die durchschnittliche Sonnenscheindauer unter dem Referenzwert von 1960-1990 (ca. 1.520 h) liegt. [DWD 2010]

### 3.1.2 Mögliche Klimaänderungen bis 2100

Deutschlands Küstenregionen von Nord- und Ostsee erwarten bis zum Ende des 21. Jahrhunderts einen vergleichsweise geringen Temperaturanstieg von 2,1 bis 4,8°C. Ursache dafür ist die Nähe zum Meer und das relativ ausgeglichene und gemäßigte Küstenklima. Allerdings wird sich die Häufigkeit so genannter Temperaturkerntage (Eistage, Frosttage, Sommertage, Tropennächte) zum Teil deutlich verändern. In den Sommermonaten kann es aufgrund der Erwärmung zu einem Anstieg der Sommertage um bis zu 38 Tage kommen. Ebenso steigt vermutlich die Anzahl der Tropennächte um bis zu 23 Nächte. In den Wintermonaten führt die Erwärmung an der Ostseeküste zu einem Rückgang der Frosttage um 18 bis mögliche 50 Tage.

**Tabelle 3: Mögliche Änderungen der Temperatur an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)**

Temperatur	Jahr			Frühling			Sommer			Herbst			Winter		
	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
Ø Temperatur [°C]	+2,1	+3	+4,8	+1,5	+2,7	+4,6	+1,9	+3	+5,1	+2,3	+3,2	+4,7	+1,9	+3,4	+4,8
Sommertage	+7,4	+16,8	+38,3	0	+1,5	+3,5	+5,7	+12,2	+30,3	+0,9	+2,6	+5,5	0	0	0
heiße Tage	+2,1	+5,8	+14,7	+0,1	+0,3	+0,6	+1,6	+4,9	+12,7	+0,1	+0,5	+1,8	0	0	0
tropische Nächte	+1,2	+8,9	+23	0	+0,2	+0,8	+1,2	+7,8	+19,1	+0,1	+0,9	+3,1	0	0	0
Frosttage	-17,9	-34,5	-50,1	-3,5	-7,4	-11,8	0	0	0	-1,3	-3,8	-6,1	-12,3	-24,5	-33,2
Eistage	-8,1	-15,6	-24	-0,6	-1,7	-2,9	0	0	0	-0,1	-0,9	-1,8	-6,9	-12,7	-21

Quelle: Norddeutsches Klimabüro 2011

Laut Klimaberechnungen werden die jährlichen Niederschlagsmengen an der Ostseeküste um bis zu 14% zunehmen. Insbesondere in den Wintermonaten werden die Niederschläge um 15 bis zu 64% intensiver. Eine starke Abnahme um bis zu 38% ist dagegen bei den sommerlichen Niederschlägen zu erwarten. In deren Folge wird mit zunehmend außergewöhnlichen Trockenheiten in den Frühjahrs- und Sommermonaten zu rechnen sein.

**Tabelle 4: Mögliche Änderungen des Niederschlags an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)**

Niederschlag	Jahr			Frühling			Sommer			Herbst			Winter		
	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
Regen [%]	0	+7	+14	+1	+12	+27	-6	-17	-38	-2	+8	+19	+15	+30	+64
Regentage	-12,1	-3	+3,3	-1,6	+1,1	+5	-2,3	-7,9	-17,2	-4,3	-0,6	+1,5	+1,5	+4,5	+8,1
Schnee [%]	-61	-82	-92	-35	-72	-98	0	0	0	-9	-67	-96	-64	-83	-96
Schneetage	-0,2	-3,1	-4,8	-0,1	-0,5	-0,7	0	0	0	-0,2	-0,1	0	-0,1	-2,4	-3,9

Quelle: Norddeutsches Klimabüro 2011

**Tabelle 5: Mögliche Änderungen der Luftfeuchte an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)**

Luftfeuchte	Jahr			Frühling			Sommer			Herbst			Winter		
	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
relative Luftfeuchte [%]	-1	0	+1	+1	+1	+2	-2	-1	+1	-1	0	0	-2	-1	+1
bodennaher Wasserdampfgehalt [%]	+17	+22	+26	+16	+20	+25	+14	+19	+22	+18	+23	+29	+19	+28	+30

Quelle: Norddeutsches Klimabüro 2011

Seit Aufzeichnung der Wetterdaten sind für die Windverhältnisse in Deutschlands Küstenregionen keine systematischen Veränderungen zu erkennen. Trotzdem ist es laut Klimaberechnungen möglich, dass vor allem im Winter die durchschnittlichen

Windgeschwindigkeiten um bis zu 15% und damit auch die Sturmstärken bis zu 14% zunehmen können. Die Anzahl der Sturmtage bleibt dagegen relativ stabil.

**Tabelle 6: Mögliche Änderungen der Windverhältnisse an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)**

Wind	Jahr			Frühling			Sommer			Herbst			Winter		
	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
mittlere Windgeschwindigkeit [%]	+1	+2	+4	+1	+2	+6	-10	-1	+2	-2	+2	+4	0	+5	+15
Sturmintensität [%]	0	+2	+4	-2	+2	+5	-8	-1	+2	-3	+2	+5	0	+5	+14
Sturmtage	+2,2	+3	+4,6	-0,1	+0,2	+0,6	-0,3	0	+0,6	+0,7	+1,3	+2,1	+0,5	+1,5	+3
windstille Tage	-0,2	-0,6	-1,3	-0,2	-0,4	-0,7	-0,2	+0,1	+0,3	-0,3	-0,1	0	-0,5	-0,3	0

Quelle: Norddeutsches Klimabüro 2011

Die jährlich durchschnittliche Sonnenscheindauer wird im Vergleich zu heute (1961-1990) bis Ende des 21. Jahrhunderts generell um 5 bis 7% abnehmen. Hauptsächlich infolge zunehmender Bewölkung ist vorwiegend in den Wintermonaten mit bis zu 27% weniger Sonnenstunden zu rechnen.

**Tabelle 7: Mögliche Änderungen der Bewölkung an der deutschen Ostseeküste bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990)**

Bewölkung	Jahr			Frühling			Sommer			Herbst			Winter		
	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
Sonnenscheindauer [%]	-5	-6	-7	-8	-14	-16	-5	0	+6	-4	-3	0	-12	-20	-27
Bedeckungsgrad [%]	-6	0	+2	-5	+1	+4	-13	-5	+1	-5	-1	+1	-1	+1	+5

Quelle: Norddeutsches Klimabüro 2011

## 4 Entwicklung der Potenziale der oberflächennahen Geothermie unter dem Einfluss des Klimawandels

Im Kapitel 2 wurden die Parameter mit Einfluss auf die Potenziale der oberflächennahen Geothermienutzung kurz erläutert. In der folgenden Tabelle werden die Parameter noch einmal sowohl den Potenzialdefinitionen als auch nach Themenbereichen zugeordnet. Wie sich diese Parameter unter dem Einfluss des Klimawandels verhalten könnten, wird in diesem Kapitel betrachtet. Ziel ist es mögliche Entwicklungsperspektiven der Potenziale der erneuerbaren Energien unter dem Einfluss des Klimawandels aufzuzeigen.

Die im Folgenden aufgestellten Thesen basieren auf der Interpretation vorhandener Daten und bekannter Zusammenhänge und stellen keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollen vor allem als Anstöße zu Diskussionen und evtl. tiefergehenden Forschungen dienen.

**Tabelle 8: Parameter mit Einfluss auf die Nutzung der oberflächennahen Geothermie**

	Kategorie	Parameter
natürliches Potenzial	Natur	Klimatische Parameter: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Globalstrahlung</li> <li>• Lufttemperatur</li> <li>• Niederschlag</li> </ul>
		Thermophysikalische Parameter des Untergrundes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmeleitfähigkeit</li> <li>• Wärmespeicherfähigkeit</li> <li>• spezifische Wärmestromdichte (aus dem Erdinneren)</li> </ul> Hydrogeologische Parameter des Untergrundes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchlässigkeit</li> <li>• hydraulischer Gradient</li> <li>• Wassergehalt des Bodens (Bodenwasser)</li> </ul>
technisches Potenzial	Technik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsfähigkeit der technischen Anlagen (z.B. Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe)</li> <li>• Art der Anwendung (Heizen, Kühlen, Speichern)</li> <li>• Höhe des Energiebedarfs (Heizlast, Kühllast, Anzahl der Volllaststunden)</li> <li>• Flächenverfügbarkeit</li> </ul>
	Recht	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Landeswassergesetze</li> <li>• Bundesberggesetz (BbergG)</li> </ul>

	Kategorie	Parameter
wirtschaftliches Potenzial	Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Betriebskosten (Reparatur, Wartung, Versicherungen etc.)</li> <li>• Gewinn</li> <li>• Fördermittel (z.B. KfW-Bank Zuschüsse, günstige Darlehen etc.)</li> </ul>

## 4.1 Einfluss des Klimawandels auf die Parameter des natürlichen Potenzials

Die Parameter des natürlichen Potenzials der Geothermie betreffen einerseits die Quellen der Erdwärme und andererseits die natürlichen Rahmenbedingungen unter denen die Wärmeenergie optimal genutzt werden kann.

### 4.1.1 Temperaturregime im Untergrund

Die Quellen der Erdwärme sind zum einen der Wärmestrom aus dem Erdinneren und zum anderen die Globalstrahlung und die Lufttemperatur. Es sind derzeit keine wissenschaftlichen Aussagen darüber bekannt, ob der Klimawandel einen Einfluss auf den Wärmestrom aus dem Erdinneren bzw. überhaupt einen Einfluss auf das Wärmeregime im Erdinneren hat. Aus diesem Grund kann folgende Aussage getroffen werden:

- ▶ **Der Klimawandel hat keinen bekannten Einfluss auf den Wärmestrom aus dem Erdinneren. Das heißt, dass die Erdwärme ab einer Tiefe von 20 m weiterhin konstant zur Verfügung stehen wird.**

In den oberen 20 m der Erdkruste wird der Wärmestrom von klimatischen Einflüssen überlagert. Hier erfolgt ein Wärmeeintrag durch die Globalstrahlung und die Lufttemperatur. Bei der thermischen Nutzung der oberflächennahen Geothermie in max. bis zu 20 m Tiefe handelt es sich also vorwiegend um die Nutzung von gespeicherter Sonnenenergie.

Die Globalstrahlung, also der Anteil der Solarstrahlung, der auf der Erdoberfläche ankommt, wird unter anderem durch den Grad der Bewölkung bzw. der Sonnenscheindauer beeinflusst. Die Sonnenscheindauer wird bis zum Ende des 21. Jahrhundert tendenziell abnehmen. Dabei ist vor allem im Winter und Frühjahr mit einer starken Abnahme der Sonnenscheinstunden um bis zu 27% zu rechnen. Im Sommer und Herbst bleibt die Anzahl annähernd gleich. Eine verminderte Globalstrahlung kann sich in geringeren oberflächennahen Bodentemperaturen auswirken. Andererseits ist der solare Strahlungseintrag im Winter aufgrund der kurzen Tage bereits so gering, dass der Einfluss der potenziell verringerten Sonnenscheindauer auf die oberflächennahen Bodentemperaturen vernachlässigbar klein ist.

- ▶ **Durch den Klimawandel wird es voraussichtlich zu einer Abnahme der jährlichen mittleren Sonnenscheindauer um ca. 6% kommen. Dies könnte eine geringfügige Abnahme der oberflächennahen Bodentemperaturen bewirken.**

Laut Klimaberechnungen werden die Lufttemperaturen im Jahresmittel bis zum Jahr 2100 um 2,1 bis 4,8°C steigen. Das bedeutet, dass es im Sommer wärmer und im Winter milder wird. Durch die erhöhten Lufttemperaturen erfolgt auch ein erhöhter Wärmeeintrag in die oberflächennahen Bodenbereiche. Dazu kommt der Effekt, dass sich durch die milderen Wintertemperaturen das Gefälle zwischen Boden- und Lufttemperatur verringert und dadurch weniger gespeicherte Sonnenwärme aus dem Boden wieder an die Luft abgegeben wird. Im Allgemeinen entsprechen die Temperaturen in bis zu 20 m Tiefe der Jahresmitteltemperatur des jeweiligen Standortes. Das heißt mit der Erwärmung der Luft erfolgt ebenfalls eine Erwärmung des oberflächennahen Bodens.

- ▶ **Durch den Klimawandel wird es zu einem Anstieg der jährlichen mittleren Lufttemperatur um 2,1 bis zu 4,8°C kommen. Infolgedessen ist mit dem Anstieg der oberflächennahen Bodentemperaturen um ebenfalls 2,1 bis zu 4,8°C zu rechnen!**

### 4.1.2 Untergrundeigenschaften

Die thermophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes (Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherfähigkeit) sind spezifische Materialeigenschaften von Gestein, Wasser und Luft, die vom Klimawandel unbeeinflusst bleiben. Auch die Hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes bleiben weitgehend vom Klimawandel unbeeinflusst bis auf den Gehalt an Wasser im Boden. Dieser wird u.a. entscheidend durch die jährlich fallenden Niederschlagsmengen beeinflusst. Regelmäßige Niederschläge wirken sich auf den Bodenwasserhaushalt stabilisierend aus und unterstützen die Grundwasserneubildung und folglich die effektive thermische Nutzung des Untergrundes. Fehlende Niederschläge dagegen wirken sich negativ auf den Bodenwasserhaushalt als auch auf die thermische Nutzbarkeit des Untergrundes aus.

Für die deutsche Ostseeküste werden bis Ende des 21. Jahrhunderts merklich Veränderungen der Niederschlagsverhältnisse prognostiziert. Eine Zunahme der jährlich durchschnittlichen Niederschlagsmengen um bis zu 14% ist wahrscheinlich. Massive Veränderungen ergeben sich vor allem in der Verteilung der Niederschläge. Während im Sommer bis zu 38% weniger Niederschläge zu erwarten sind, nehmen die Niederschläge in den Wintermonaten bis zu 64% zu. Dabei wird es aufgrund der milderen Wintertemperaturen statt Schneefall mehr Regen geben.

Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt hat neben dem Parameter Niederschlag auch der Parameter Lufttemperatur. Die in den Sommermonaten zu erwartenden erhöhten Lufttemperaturen können in Kombination mit geringeren Niederschlagsereignissen zu langen Trockenperioden und infolgedessen zu Austrocknungserscheinungen in den oberen Erdschichten und zu einem Absinken des Grundwasserspiegels führen. Der in den trockenen Sommermonaten erhöhte Verbrauch an Trink- bzw. Grundwasser verstärkt diesen Effekt. Ein geringerer Wasseranteil im Boden vermindert die spezifischen Wärmeentzugswerte, die für eine effektive thermische Nutzung sehr wichtig sind.

- ▶ **Durch den Klimawandel werden für die Sommermonate erhöhte Temperaturen und verringerte Niederschläge prognostiziert. Dies kann eine Verschlechterung der Bedingungen für die effektive thermische Nutzung des Untergrundes bedeuten.**

Die zukünftige Situation in den Wintermonaten wird voraussichtlich durch mildere Temperaturen und vermehrte Niederschläge geprägt sein. Durch den Eintrag der winterlichen Niederschläge wird das Defizit der Sommermonate wieder ausgeglichen. Der zunehmende Wassergehalt des Bodens verbessert die Wärmeentzugswerte.

- ▶ **Durch den Klimawandel werden für die Wintermonate erhöhte Temperaturen und vermehrte Niederschläge prognostiziert. Dies bedeutet eine Verbesserung der Bedingungen für die effektive thermische Nutzung des Untergrundes.**

#### **4.1.3 Zusammenfassung: Folgen des Klimawandels für das natürliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie**

Durch den Klimawandel ändert sich der Wärmestrom aus dem Erdinneren nicht, jedoch könnte es zu einer Abnahme der Sonneneinstrahlung und damit der oberflächennahen Bodentemperaturen kommen. Diese potenzielle Abnahme der oberflächennahen Bodentemperaturen wird jedoch durch den Anstieg der mittleren jährlichen Lufttemperaturen mindestens ausgeglichen. Mehr noch ist durch die steigenden Lufttemperaturen auch die Zunahme der oberflächennahen Bodentemperaturen zu erwarten.

Ein hoher Wasseranteil im Boden bzw. ein ergiebiger Grundwasserleiter unterstützen eine effektive thermische Nutzung des Untergrundes. Infolge der durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen der Niederschlagsverhältnisse zusätzlich zu den steigenden Lufttemperaturen könnten sich Parameter des Bodenwasserhaushalts verändern.

In den Sommermonaten können Trockenperioden die Bedingungen für eine effektive thermische Nutzung des Untergrundes verschlechtern. Hinzu kommt, dass durch die erhöhten Luft- und Bodentemperaturen die thermische Nutzung des Untergrundes für Kühlleistungen uneffektiver wird.

In den Wintermonaten werden sich die Bedingungen für eine effektive thermische Nutzung des Untergrundes voraussichtlich verbessern. Vermehrte Niederschläge erhöhen den Wassergehalt im Boden. Die steigenden Luft- wie auch Bodentemperaturen erhöhen das nutzbare Wärmeenergieangebot im Untergrund.

Die Folgen des Klimawandels werden sich also in den Wintermonaten tendenziell positiv auf das natürliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie auswirken. In den Sommermonaten wird das natürliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie durch die Folgen des Klimawandels eher vermindert. Dies gilt insbesondere für die Nutzung der Erdwärme für Kühlleistungen.

## **4.2 Einfluss des Klimawandels auf die Parameter des technischen Potenzials**

Die Parameter des technischen Potenzials der oberflächennahen Geothermie beziehen sich zum einen auf die technischen Möglichkeiten zur thermischen Nutzung des Untergrundes. Zum anderen werden auch strukturelle und ökologische Restriktionen sowie gesetzliche Vorgaben berücksichtigt, soweit sie ähnlich den technischen Einschränkungen „unüberwindbar“ sind.

### 4.2.1 Technik

Auch unter Nutzung der aktuell besten am Markt verfügbaren Technik unterliegt die geothermische Energieerzeugung den Grenzen erreichbarer Wirkungsgrade und Anlagengrößen. Auf das technische Entwicklungspotenzial von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes kann der Klimawandel kaum Einfluss nehmen, da z.B. der erreichbare Wirkungsgrad der Anlagen von den Eigenschaften der verwendeten Materialien (z.B. Wärmeträgerflüssigkeit) abhängt. Jedoch resultieren mögliche technische Anpassungen oder veränderte Einsatzgebiete bzw. -häufigkeiten der Technologien aus dem Einfluss des Klimawandels.

So kann es in den Sommermonaten zu Trockenperioden und dadurch zur Beeinträchtigung der Effizienz der thermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes kommen. Infolgedessen wäre es möglich, dass vermehrt Erdwärmesonden und weniger Erdwärmekollektoren eingesetzt werden, da Erdwärmesonden die Erdwärme aus tieferen, vom Klimawandel vorerst unbeeinflussten Erdschichten beziehen. Erdwärmekollektoren werden in ca. 2 m Tiefe verlegt und werden daher stark von klimatischen Bedingungen beeinflusst. Andererseits verbessern sich in den Wintermonaten die Bedingungen für die thermische Nutzung des oberflächennahen Untergrundes, so dass hier der Einsatz von Erdwärmekollektoren für eine ausreichende Wärmeversorgung genügt.

Die Wahl zwischen Erdwärmekollektoren oder Erdwärmesonden wird sich anhand des gewünschten Anwendungsprofils entscheiden. Für die Wärmeversorgung im Winter wird voraussichtlich der Einsatz von oberflächennah verlegten Erdwärmekollektoren genügen. Im Sommer dagegen steht die Versorgung mit Klimakälte im Vordergrund. Diese wird durch den Einsatz von oberflächennah verlegten Erdwärmekollektoren nicht mehr effizient zur Verfügung gestellt werden können. In diesem Fall wird der Einsatz von Erdwärmesonden notwendig werden.

Eine infolge des Klimawandels notwendig werdende Anpassung bzw. „Abänderung“ der Technologien zur Erdwärmennutzung ist nicht zu erkennen. Die Weiterentwicklung der Technik geht aus dem allgemeinen Bestreben sich zu verbessern hervor und wird wahrscheinlich in einer längeren Lebenszeit und höheren Effizienz der Anlagen resultieren.

- ▶ **Durch den Klimawandel veränderte Umweltbedingungen haben einen Einfluss auf die Effizienz von oberflächennah verlegten Erdwärmekollektoren und können so zu Veränderungen in der Einsatzhäufigkeit von Erdwärmekollektoren führen.**

### 4.2.2 Recht

Einschränkungen für die thermische Nutzung des oberflächennahen Untergrundes entstehen vor allem durch rechtliche Regelungen zum Wasserschutz und Bergrecht. Den bergrechtlichen Regelungen liegen vorwiegend sogenannte private Aneignungs- und Tätigkeitsrechte zugrunde. Das heißt, dass durch sie lediglich Eigentumsrechte, jedoch nicht der Schutz knapper Ressourcen geregelt werden. Die wasserschutzrechtlichen Regelungen dagegen begründen sich auf den Schutz einer knappen Ressource (Wasser) sowie ökologisch wertvoller hydrogeologischer Bestände. Der Einfluss auf die berg- oder wasserschutzrechtlichen Regelungen durch den Klimawandel kann so aussehen, dass sich

durch ihn die Grundlagen der Wasserschutzgesetze verändern und dadurch eine Anpassung der Gesetze an die veränderten Bedingungen als notwendig erachtet werden.

- ▶ **Durch den Klimawandel können sich Umweltbedingungen ändern, die als Grundlage für Gesetze dienen. Als Folge des Klimawandels ist die Anpassung bestehender Gesetze an die veränderten Grundlagen denkbar.**

Eine thermische Nutzung des Untergrundes in Trinkwasserschutzgebieten bzw. in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen sowie Heilquellenschutzgebieten ist in der Regel ausgeschlossen. Es gilt die Maxime, dass die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser uneingeschränkten Vorrang hat. Dies gilt unter anderem auch dann, wenn die Trinkwasserversorgung über Hausbrunnen erfolgt, für die kein Schutzgebiet ausgewiesen ist. Die thermische Nutzung des Grundwassers darf keine qualitativen sowie quantitativen Beeinträchtigungen zur Folge haben. Daher ist beim Einsatz von Erdwärmesonden und geothermischen Dubletten auf die Einhaltung wasserschutzrechtlicher Ziele und Anforderungen zu achten.

Der Klimawandel hat voraussichtlich Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse. In den Sommermonaten sind vermehrt Dürreperioden zu erwarten in denen zum einen die Grundwasserneubildung rückgängig sein wird und zum anderen der Grundwasserverbrauch durch höhere Bedarfe (Trinkwasser, Landwirtschaft etc.) steigt. In den Sommermonaten ist daher mit einer negativen Bilanz des Grundwasserhaushaltes zu rechnen.

Aufgrund der Annahme, dass zukünftig vor allem in den Sommermonaten mit einer verschärften Grundwasserproblematik zu rechnen ist, könnten verstärkte Nutzungseinschränkungen für die thermische Nutzung des Untergrundes sowie des Grundwassers notwendig werden. Der verstärkte Schutzanspruch des Grundwassers könnte sich in der Anpassung der wasserschutzrechtlichen Regelungen widerspiegeln.

Weiterhin wäre es möglich, dass durch den Klimawandel Wasserschutzgebiete verschwinden, sich vergrößern oder verlagern. In diesem Zusammenhang würde sich die Verfügbarkeit thermisch nutzbarer Flächen verändern.

- ▶ **Durch den Klimawandel ist in den Sommermonaten eine Beeinträchtigung der Grundwassersituation abzusehen. Dies könnte verstärkte Nutzungseinschränkungen bei der thermischen Nutzung des Untergrundes und vor allem des Grundwassers zur Folge haben.**

#### **4.2.3 Zusammenfassung: Folgen des Klimawandels für das technische Potenzial der oberflächennahen Geothermie**

Das technische Potenzial umfasst den Anteil am natürlichen Potenzial, der hinsichtlich der aktuell besten am Markt verfügbaren Technik sowie unter Berücksichtigung struktureller und ökologischer Restriktionen sowie gesetzlicher Vorlagen nutzbar ist.

Die Weiterentwicklung der Technologien zur thermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes dient dem Ausbau des technischen Potenzials. Als oberste Prämisse wird hier die Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Erdwärmeübertrager und Wärmepumpe angesetzt. Eine durch den Klimawandel notwendig werdende Anpassung der Technologien ist soweit erkennbar nicht notwendig.

Anders verhält es sich mit den strukturellen und ökologischen Restriktionen. Insbesondere hinsichtlich des Grundwasserschutzes kann es durch den Klimawandel teilweise zu verstärkten Problemen kommen. Die sichere Grund- bzw. Trinkwasserversorgung hat uneingeschränkten Vorrang. Die thermische Nutzung des Untergrundes und teilweise des Grundwassers stellt jedoch einen Eingriff in die Natur mit einer latenten Gefahr für Boden und Wasser dar. Zum Schutze des wahrscheinlich vom Klimawandel beeinträchtigten Grundwasserhaushaltes könnte es zu Anpassungen in der Gesetzeslage in Form von verschärften Nutzungseinschränkungen für die Erdwärme kommen.

Durch den Einfluss des Klimawandels kann es also zu Einschränkungen des technischen Potenzials der oberflächennahen Geothermie kommen.

### 4.3 Einfluss des Klimawandels auf die Parameter des wirtschaftlichen Potenzials

Die Parameter des wirtschaftlichen Potenzials der oberflächennahen Geothermie beziehen sich auf die Ausgaben (Investition, Betrieb etc.) und Einnahmen (Kosteneinsparungen, Fördermittel etc.), die durch die thermische Nutzung des Untergrundes entstehen. Auch hier kann der Klimawandel indirekt Folgen haben.

Ein Einfluss des Klimawandels auf die Wirtschaftlichkeit der thermischen Nutzung des Untergrundes kann sich durch ein erhöhtes Schadenspotenzial aufgrund kurz- oder langfristiger Materialbeanspruchung ergeben. Da die technischen Anlagen zur Erdwärmennutzung sich hauptsächlich unter der Erdoberfläche befinden, halten sich potenzielle Gefahren für die Anlagen in Grenzen.

- ▶ **Durch den Klimawandel ist kein erhöhtes Schadenspotenzial für Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes erkennbar.**

Durch vermehrte Dürreperioden in den Sommermonaten kann es zur Verringerung der Anlageneffizienz bestehender Anlagen kommen. Andererseits steigt die Anlageneffizienz in den Wintermonaten durch mildere Temperaturen und bessere Wärmeentzugsbedingungen (siehe natürliche Parameter).

- ▶ **Durch den Klimawandel kann es im Winter zu einer Steigerung und im Sommer zur Verringerung der Effizienz bestehender Anlagen zur thermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes kommen!**

Weiterhin kann sich durch die veränderten Klimaverhältnisse die Nachfrage nach den Möglichkeiten der thermischen Nutzung des Untergrundes verändern. Infolge der Zunahme der Lufttemperaturen wird vermehrt nach günstigen und nachhaltigen Raumklimatisierungssystemen gesucht. Trotz der erhöhten Temperaturen auch im oberflächennahen Untergrund, kann mit Erdwärmesystemen eine kostengünstige Raumkühlung erreicht werden.

- ▶ **Durch den Klimawandel verändert sich die saisonale Nachfrage nach Erdwärme (Heizen/Kühlen).**

Einen starken Einfluss auf die Nachfrageseite hat der Klimawandel über die Komponente „soziale Akzeptanz“. Mit der Zunahme der negativen Folgen des Klimawandels wächst die Nachfrage nach klima- und umweltfreundlichen, nachhaltigen Energien. Auf der anderen Seite wird aufgrund des Klimawandels bzw. zur Verminderung seiner negativen Folgen bereits per Gesetz zum vermehrten Einsatz emissionsarmer Energietechnologien angehalten. Durch das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz von 2009 werden neue Hausbauer in die Pflicht genommen, die Wärmeversorgung zumindest teilweise aus erneuerbaren Energien zu beziehen. Weiterhin gibt es zahlreiche Fördermöglichkeiten, die zum Einsatz von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes verlocken. Ein erhöhter Absatz an Technologien für die thermische Nutzung des Untergrundes führt im Allgemeinen zu sinkenden Kosten.

#### **4.3.1 Zusammenfassung: Folgen des Klimawandels für das wirtschaftliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie**

Der Klimawandel wird Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von Systemen zur thermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes haben. Bedingungen für eine effiziente und wirtschaftliche Erdwärmennutzung sind günstige Untergrundbedingungen, niedrige Anschaffungs- und Betriebskosten sowie eine große Nachfrage.

Die Untergrundbedingungen bzw. das natürliche Potenzial wird durch den Klimawandel beeinflusst. In den Sommermonaten nimmt das natürliche Potenzial eher ab. In den Wintermonaten verbessern sich die Bedingungen für eine effektive thermische Nutzung des oberflächennahen Untergrundes.

Da sich die Technologie insbesondere als Heizsystem für die Bereitstellung von Gebäudewärme inzwischen etabliert hat, wird die Anwendung auch aufgrund milderer Wintertemperaturen zunehmend wirtschaftlicher. Dies spiegelt sich vor allem in den sinkenden Betriebskosten wider. Dagegen wird das wirtschaftliche Potenzial für Kälteanwendungen in den Sommermonaten aufgrund verschlechterter Untergrundbedingungen leicht abnehmen.

In Anbetracht auf die zunehmende Wirtschaftlichkeit sowie auf die zunehmende soziale Akzeptanz, dass durch die Nutzung regenerativer Energien zum Klima- und Umweltschutz beigetragen wird, ist von einem weiteren stetigen Anstieg der Nachfrage nach Anlagen zur Nutzung der Erdwärme auszugehen.

Der Klimawandel hat also hauptsächlich positive Auswirkungen auf das wirtschaftliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie.

## 5 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis des Arbeitspaketes 1.7.3 des Fokusthemas Erneuerbare Energien im Forschungsprojekt Radost – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste. Ziel dieses Berichts war die Analyse und Prognose der Potenziale der oberflächennahen Geothermie an der deutschen Ostseeküste unter dem Einfluss des Klimawandels. Dabei wurde folgende Vorgehensweise gewählt.

1. Erläuterungen zur Geothermie und ihren Potenzialparametern
2. Betrachtung des Klima und des Klimawandels an der deutschen Ostseeküste
3. Ermittlung eventueller Veränderungen der Potenzialparameter durch den Klimawandel und Schlussfolgerung der Entwicklungsperspektiven geothermischer Energienutzungen aufgrund veränderter Potenzialparameter

Grundlage für die Betrachtungen in diesem Bericht bildeten unter anderem die Ergebnisse der Arbeitspakete 1.7.1 „Bericht über die Umweltparameter der erneuerbaren Energien“ und 1.7.2 „Matrix der Umweltparameter der erneuerbaren Energien“.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Analyse und Prognose der Potenziale der oberflächennahen Geothermie unter dem Einfluss des Klimawandels lauten folgendermaßen:

- ▶ Die Folgen des Klimawandels werden sich in den Wintermonaten tendenziell positiv auf das natürliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie auswirken. In den Sommermonaten wird das natürliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie durch die Folgen des Klimawandels eher vermindert. Dies gilt insbesondere für die Nutzung der Erdwärme für Kühlleistungen.
- ▶ Durch den Einfluss des Klimawandels kann es zu Einschränkungen des technischen Potenzials der oberflächennahen Geothermie kommen.
- ▶ Der Klimawandel hat hauptsächlich positive Auswirkungen auf das wirtschaftliche Potenzial der oberflächennahen Geothermie.

## Literaturverzeichnis

- Benz 2009                    Benz S. (2009): Rechtliche Rahmenbedingungen für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie, Lüneburger Schriften zum Umwelt- und Energierecht, Band 13, 2. Auflage 2009
- BMU 2012                    Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Erneuerbare Energien 2011, vorläufige Fassung Stand 08.03.2012
- BWP 2011                    Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2011): BWP-Branchenstudie 2011- Szenarien und politische Handlungsempfehlungen, Stand August 2011
- BWP 2012                    Bundesverband Wärmepumpe e.V., URL: [www.waermepumpe.de/index.php](http://www.waermepumpe.de/index.php) (Stand: Juni 2012)
- Dengler 2010                Dengler C. (2010): Umweltparameter erneuerbarer Energien - Ermittlung relevanter Umweltparameter für die erneuerbaren Energien: Geothermie, Photovoltaik, Windenergie, Biogas - RADOST-Berichtsreihe, Bericht Nr. 2, ISSN: 2192-3140
- DWD                         Deutscher Wetterdienst, URL: [www.dwd.de](http://www.dwd.de)
- DWD 2010                    Deutscher Wetterdienst (2010): Zahlen und Fakten zur DWD-Presskonferenz am 27. April 2010 in Berlin
- EEWärme-G, 2009            Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz in der Fassung vom 07.08.2008, zuletzt geändert am 15.07.2009
- Erdwärme-Infos.de        URL: <http://www.erdwaerme-infos.de/energie/umruestung.php> (Stand: 28.02.2012)
- geodz                        Das Lexikon der Erde, URL: [www.geodz.com/deu/d](http://www.geodz.com/deu/d)
- Gläser 2010                URL: [www.glaeser-geothermie.de/geothermie](http://www.glaeser-geothermie.de/geothermie) (Stand: Mai 2010)
- GtV                         Bundesverband Geothermie e.V., URL: [www.geothermie.de](http://www.geothermie.de)
- IPPC 2007                    Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (2007): Klimaänderung 2007 Synthesebericht
- Norddeutsches Klimabüro 2011    Norddeutsches Klimabüro (2011): Regionale Klimaszenarien in der Praxis, Beispiel deutsche Ostseeküste, Stand Mai 2011
- SGD 2007                    Staatliche Geologische Dienste Deutschlands, PK Tiefe Geothermie (2007): Nutzungen der geothermischen Energie aus dem tiefen Untergrund (Tiefe Geothermie) - Arbeitshilfe für Geologische Dienste - ,
- Spektrum                    Spektrum Akademischer Verlag: Lexikon der Geowissenschaften, URL: <http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/geo/4244>
- Stober et.al. 2012        Stober I., Bucher K. (2012): Geothermie, Springer Verlag
- UBA 2008                    Umweltbundesamt (2008): Deutschland im Klimawandel: Anpassung ist notwendig
- VDI 4640                    Verein Deutscher Ingenieure (2008): Richtlinie 4640 - Thermische Nutzung des Untergrunds (Blatt 1 - 4), Beuth Verlag, Berlin



## **Impressum**

### **Herausgeber**

Ecologic Institut gemeinnützige GmbH  
Pfalzburger Str. 43/44  
10717 Berlin  
[www.ecologic.eu](http://www.ecologic.eu)

### **Inhalt erstellt durch:**

GICON – Großmann Ingenieur Consult GmbH  
Rosa-Luxemburg-Straße 25/26  
18055 Rostock  
<http://www.gicon.de>

### **Web**

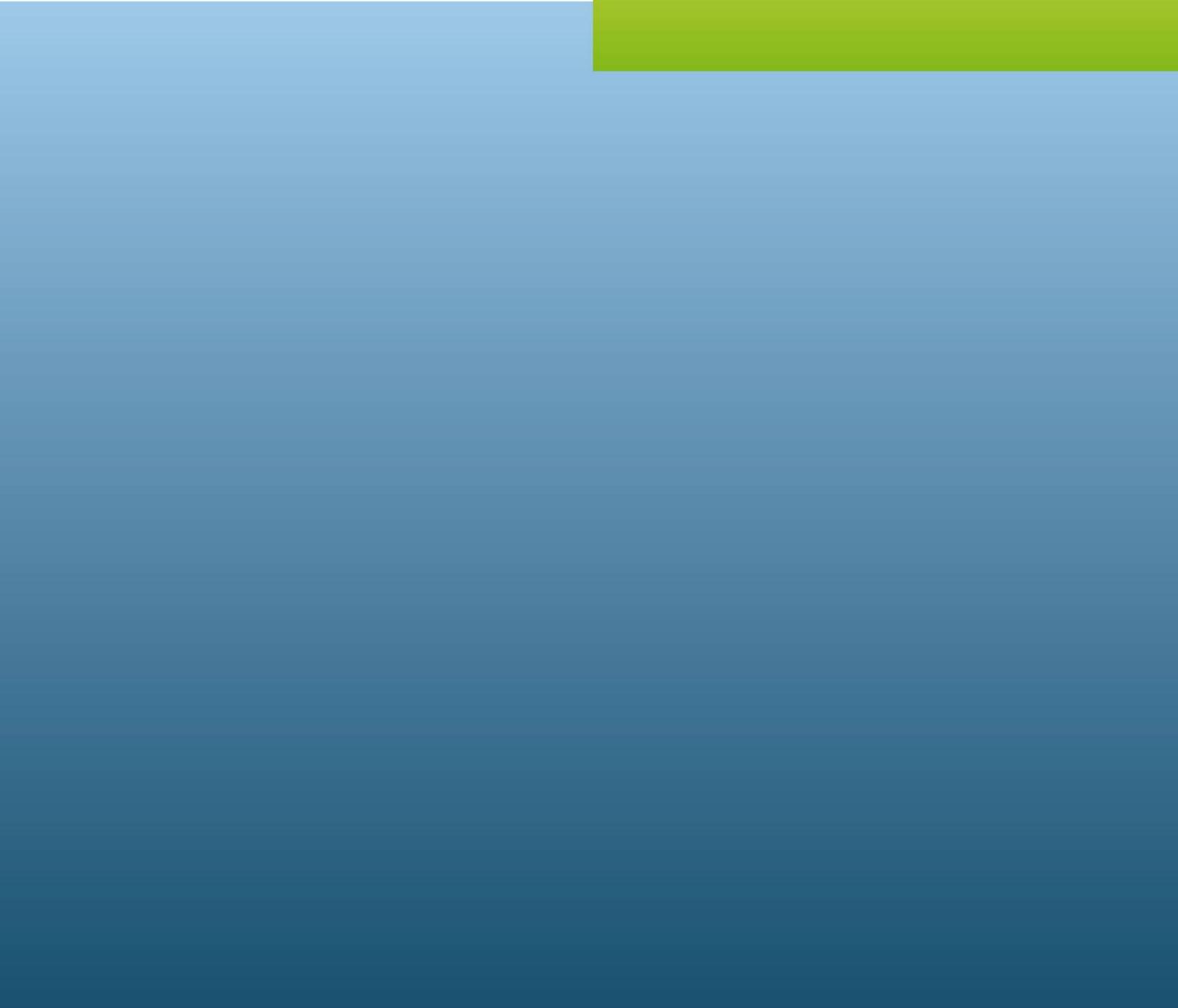
<http://www.klimzug-radost.de>

### **Bildrechte**

Deckblatt: Fotos rechts und links: © Cindy Dengler  
Abbildung mitte: © [www.erdwärme-infos.de](http://www.erdwärme-infos.de)

**ISSN** 2192-3140

Das Projekt "Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste" (RADOST) wird im Rahmen der Maßnahme „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ (KLIMZUG) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung