

Positionspapier

Die Rolle der tiefen Geothermie bei der Wärmewende

*Wie Deutschland 60 % erneuerbare
Wärme bis 2050 schaffen könnte*



Archivnummer: 0135181

Datum: 27.04.2018

Die Rolle der tiefen Geothermie bei der Wärmewende

Wie Deutschland 60 % erneuerbare Wärme bis 2050 schaffen könnte

Thorsten Agemar, Evelyn Suchi & Inga Moeck

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Die gegenwärtige Klimaerwärmung auf der Erde ist eine nicht mehr zu leugnende Tatsache. Wie bei jeder Klimaveränderung in der Menschheitsgeschichte zuvor, können die geopolitischen, geökonomischen und geökologischen Auswirkungen erhebliche Formen annehmen. Vor allem dicht besiedelte Küsten sind vom Anstieg des Meeresspiegels in Folge der thermischen Ausdehnung der Ozeane und dem Abschmelzen von Gletschereis betroffen. Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, extreme Dürren, aber auch extreme Niederschläge, die zu Überschwemmungen führen, häuften sich in unvorhergesehener Weise weltweit in den letzten 20 Jahren [1]. Die Zahl der Opfer, die ökologischen Folgen und auch die Schäden an Infrastruktur können immens sein. Gerade ärmere Regionen leiden darunter besonders, da sie bei Naturkatastrophen nicht in der Lage sind, ihre Bevölkerung ausreichend zu schützen und die Versorgung mit lebenswichtigen Gütern aufrecht zu halten. In einer US-Studie unter dem Titel „National Security and the Threat of Climate Change“ [2] wurde schon 2007 darauf hingewiesen, dass der Klimawandel in einigen labilen Regionen der Welt die Probleme verstärken wird und anhaltender Klimastress schwelende Krisen zu offenen Konflikten ausweiten kann. In einer globalisierten Welt beschränken sich die Auswirkungen des Klimawandels daher in Deutschland nicht auf Jahrhunderthochwasser, Sturmschäden, Hitzewellen und Einnahmeausfälle im Agrarsektor. Indirekt sorgt der Klimawandel auch für gesellschaftlichen Zündstoff in Deutschland, wenn Mangel an Sicherheit und Frieden außerhalb Europas Menschen veranlasst, ihre Heimat zu verlassen.

Bezüglich der Ursachen des Klimawandels und der Rolle von Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) herrscht in der Wissenschaft weitgehende Einigkeit. Deshalb war es ein wichtiger und wegweisender Schritt, dass die Bundesregierung 2016 das Gesetz zur Ratifikation des Pariser Klimaabkommens beschlossen hat. Mit dem Ziel, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad, wenn möglich auf 1,5 Grad zu begrenzen, hat sich Deutschland verpflichtet, seine Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um mindestens 80 % gegenüber 1990 zu senken. Als Zwischenziele sollten bereits 2020 die Emissionen um mindestens 40 % und 2030 um mindestens 55 % unter denen von 1990 liegen. Als bevölkerungsreichster und wirtschaftsstärkster Mitgliedstaat der EU hat Deutschland eine Vorbildfunktion und trägt eine hohe Verantwortung für den Erfolg der EU-Klimapolitik. Neben der Steigerung der Energieeffizienz nimmt der Ausbau der Versorgung mit erneuerbarer Energie eine wesentliche Rolle ein. 2050 soll der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch 60 % betragen [3].

Entwicklung des Wärmeverbrauchs 1990-2014

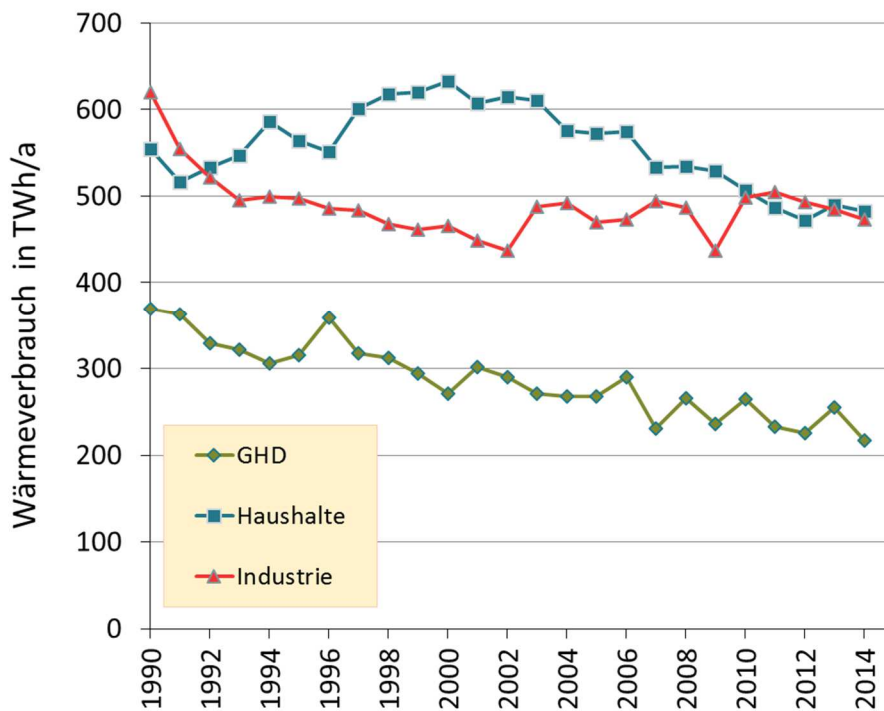


Abb. 1: Entwicklung des Wärmeverbrauchs 1990 bis 2014 für Gewerbe/Handel/Dienstleistung (GHD), private Haushalte und Industrie in Deutschland. Quelle: [4]

Klimaziele verfolgen mit der Wärmewende

Dieses Ziel ist ohne eine Wärmewende, also ein Umstieg auf erneuerbare Energiequellen im Wärmesektor, nicht zu schaffen, da die Fortschritte bei der Energieeffizienz nur langsam fortschreiten können. Der Ausbau geothermisch gespeister Wärmenetze stellt eine Option dar, die schneller umgesetzt werden kann, als die energetische Sanierung von Altbauten und die Errichtung von Neubauten mit geringem Wärmeverbrauch, wie das Beispiel der geothermischen Fernwärme in den Gemeinden Aschheim, Feldkirchen und Kirchheim bei München zeigt [5].

Der Bedarf an Wärme ist in Deutschland trotz Entwicklung immer effizienterer Technologien und der Energieeinsparverordnung im Gebäudesektor sehr hoch und sinkt nur langsam (Abbildung 1). Zurzeit verbraucht Deutschland jährlich ca. 1250 TWh (1 Terrawattstunde = 1 Mrd. Kilowattstunden) Wärme. Der Stromverbrauch Deutschlands über das Jahr beträgt im Vergleich dazu nur ca. 525 TWh. Das bedeutet, es wird mehr als doppelt so viel Wärme wie Strom benötigt. Der überwiegende Teil dieser Wärme wird zum Heizen verwendet. Zwar verbrauchen Neubauten deutlich weniger Energie zum Heizen als Altbauten, die Erneuerung des Gebäudebestands schreitet jedoch mit jährlich ca. 1 % [4] viel zu langsam voran, um die Treibhausgasemissionen deutlich zu senken. Zurzeit sinkt der Raumwärmebedarf der privaten Haushalte nur mit 2% pro Jahr [6].

In der Industrie werden knapp 500 TWh Prozesswärme pro Jahr für die Herstellung von Produkten verwendet [7]. Der Bedarf erstreckt sich über fast alle Branchen. Von der Verarbeitung von Lebensmitteln und anderen Naturprodukten bis zur Herstellung von Kraftstoffen, Kunststoffen und anderen

Werkstoffen reicht die Palette. Zwar investiert die Industrie in effizientere Technologien, der Wärmeverbrauch folgt jedoch primär den Konjunkturschwankungen. Bei anhaltendem Wirtschaftswachstum ist daher eher mit gleichbleibenden Treibhausgasemissionen in diesem Bereich zu rechnen, wenn nicht vermehrt Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs unternommen werden.

Der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung zeigt dagegen ähnlich wie die privaten Haushalte eine Tendenz zu sinkenden Treibhausgasemissionen.

Leider stagniert der Anteil erneuerbarer Wärme seit 2010 bei rund 160 TWh pro Jahr, was ungefähr 13% des Wärmeverbrauchs entspricht. [8] [9] Erneuerbare Wärme wird in Deutschland bisher fast ausschließlich aus Holz und Biogas gewonnen. Ähnlich wie bei der Verfeuerung fossiler Brennstoffe entstehen aber auch hier gesundheitsschädliche Emissionen, in erster Linie Feinstaub und Stickoxide (Abbildung 2). Eine verstärkte Holz- oder Biogasverfeuerung würde aber nicht nur die Umwelt stärker belasten, sie wäre auch nur auf Kosten anderer landwirtschaftlicher Produkte oder durch zusätzliche Importe möglich. Langfristig ist jedoch davon auszugehen, dass Ackerböden weiterhin hauptsächlich für die Nahrungsproduktion eingesetzt werden. Darüber hinaus werden vermutlich immer mehr Agrarprodukte seitens der chemischen Industrie und des Verkehrssektors (z. B. als Ersatz für Kerosin) nachgefragt. Der Holzzuwachs beträgt etwa 121,6 Mio. m³/a in Deutschland, pro Einwohner sind dies etwa 1 ½ m³/a [10]. Eine Steigerung ist auch hier nicht zu erwarten.

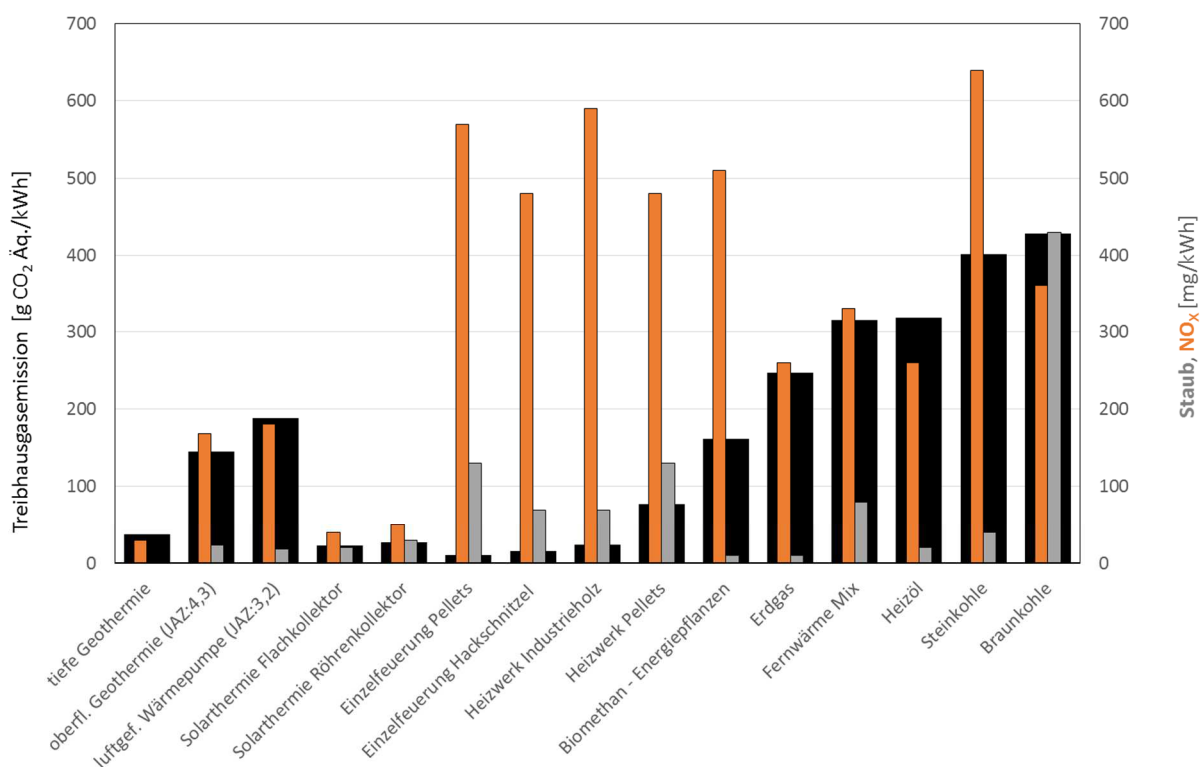


Abb. 2: Feinstaub-, Stickoxid- und Treibhausgasemission pro Kilowattstunde für verschiedene Wärme-Technologien. Quelle: [11]

Eine immer noch verbreitete, wenn auch aus thermodynamischer Sicht ineffiziente Form der Wärmeerzeugung ist die Nutzung von Strom, der durch die Verbrennung fossiler Energieträger oder durch Kernkraft wiederum aus thermischer Energie gewandelt wird. Bei der Umweltbilanz spielt daher eine große Rolle, wie der Strom erzeugt wurde. Konventionelle Kohlekraftwerke haben einen Wirkungsgrad von 33 bis 42%. Ein Großteil der aufgewendeten Energie geht bei der Stromerzeugung verloren.

Nur durch den Einsatz von Technologien wie Kraft-Wärme-Kopplung oder Gas-und-Dampf-Kraftwerken kann ein deutlich höherer Wirkungsgrad erzielt werden. Besser ist die Verwendung von Wärme, die ansonsten ungenutzt in die Umwelt entweicht, wie zum Beispiel industrielle Abwärme oder die in Abwasser oder Abluft vorhandene Restwärme. Diese steht ganzjährig zur Verfügung, jedoch nur in begrenztem Umfang und vor allem nur an wenigen Orten. Umgekehrt verhält es sich bei der Solarthermie: diese steht zwar flächendeckend zur Verfügung, aber unterliegt witterungsbedingten und jahreszeitlichen Schwankungen, so dass zum Beispiel in Gebäuden mit Solarkollektoren ohne extrem große Speicher nur zwischen 30 und 60% des Warmwasserbedarf damit gedeckt werden. Zwar hat sich die Nutzung der Solarthermie in den letzten zehn Jahren ungefähr verdoppelt, die weit verbreiteten Einzelanlagen sind aber verglichen mit anderen Verfahren zur Bereitstellung von Warmwasser recht teuer und systembedingt kann Solarthermie nur mit sehr großem Aufwand einen substantiellen Anteil des Wärmebedarfs decken.

Während die oberflächennahe Geothermie für Anwendungen auf relativ niedrigem Temperaturniveau und geringem Bedarf in Frage kommt, kann die tiefe Geothermie für ganz verschiedene Anwendungen genutzt werden. Je nach Temperatur des geförderten Thermalwassers, kann die geothermische Energie nicht nur zum Heizen von Gebäuden genutzt werden (Abbildung 3), sondern z. B. auch in der Lebensmittelproduktion, wie zum Beispiel in Rittershofen (Stärke), Unterhaching (Saucen, Senf etc.) oder Greinberg (Molkerei). Ab einer Thermalwassertemperatur von über 120°C wird an einigen Standorten in Deutschland geothermische Energie auch zur Stromerzeugung genutzt, was jedoch nur mit relativ niedrigem Wirkungsgrad möglich ist.

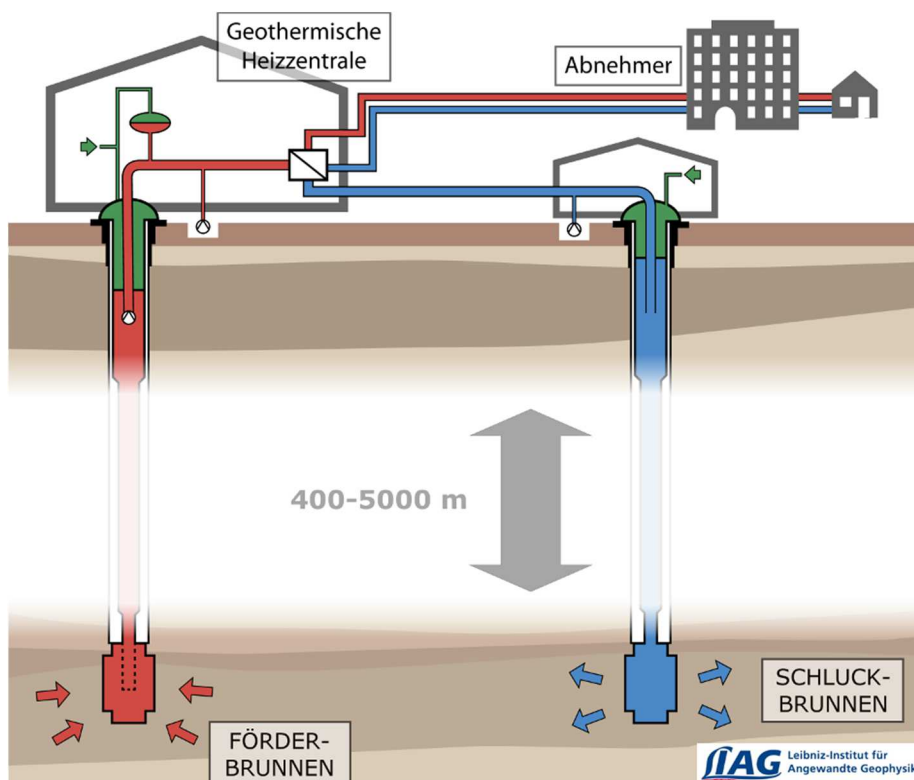


Abb. 3: Funktionsschema einer geothermischen Dublette.

2016 wurden ca. 1,3 TWh geothermische Energie in Deutschland gefördert. Der größte Teil wurde in Fernwärmenetze eingespeist (siehe Abbildung 4). Verglichen mit der jährlich aus erneuerbaren Quel-

len gewonnenen Wärmeenergie in Höhe von ca. 160 TWh ist der aktuelle Beitrag der tiefen Geothermie zur Wärmeversorgung noch sehr gering. Allerdings sind die Steigerungsraten von durchschnittlich 10% pro Jahr beachtlich.

Einen Überblick über die derzeitige Nutzung der tiefen Geothermie in Deutschland und teilweise auch in angrenzenden Gebieten bietet das Internet-Portal GeotIS [12]. Über dieses geothermische Informationssystem können sowohl aktuelle Zahlen zur geothermischen Energiegewinnung als auch Statistiken über die letzten Jahre abgerufen werden.

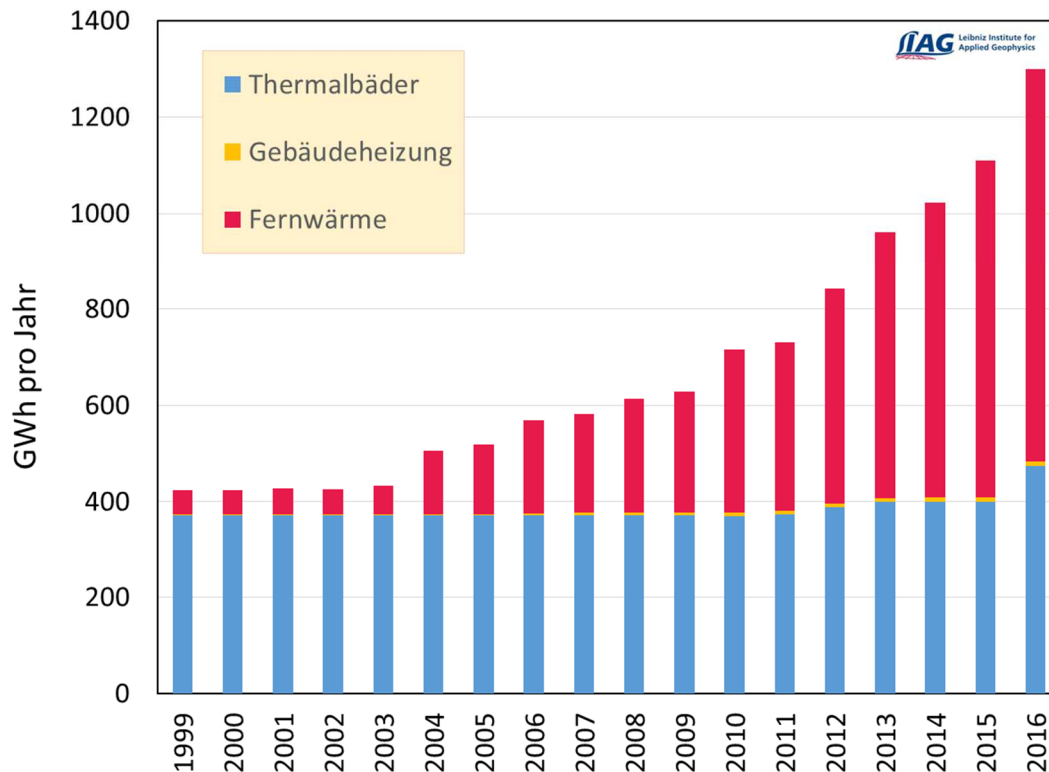


Abb. 4: Entwicklung der geothermischen Wärmenutzung in Deutschland von 1999 bis 2016. Quelle: [12]

Einen Überblick der verfügbaren geothermischen Ressourcen in Deutschland bieten die Karten in Abbildung 5. Auch hierzu bietet das Internet-Portal GeotIS noch detailliertere Informationen und Daten, wie zum Beispiel die Temperaturverteilung im Untergrund und viele andere für die Nutzung der tiefen Geothermie wichtigen Eigenschaften des Untergrunds.

Wieviel erneuerbare Wärme könnte tiefengeothermisch in Deutschland gewonnen werden?

Auf Grundlage statistischer Daten haben wir untersucht, wie hoch der Anteil der tiefen Geothermie am Wärmeverbrauch im Jahr 2050 sein könnte und ob dadurch die deutschen Klimaziele im Wärmesektor erreichbar sind. Für dieses Szenario „60% Erneuerbare Wärme“ müssen eine Reihe von Detailfragen beantwortet werden. Die wichtigste ist zunächst die Entwicklung des Wärmeverbrauchs insgesamt. Im nächsten Schritt muss geklärt werden, welche Ausbauziele bei der Nutzung der tiefen Geothermie realistisch sind. Im dritten Schritt muss die zukünftige Entwicklung der anderen regenerativen Wärmequellen abgeschätzt werden, um zu beurteilen, welche Technologien neben der tiefen Geothermie verstärkter Förderung bedürfen.

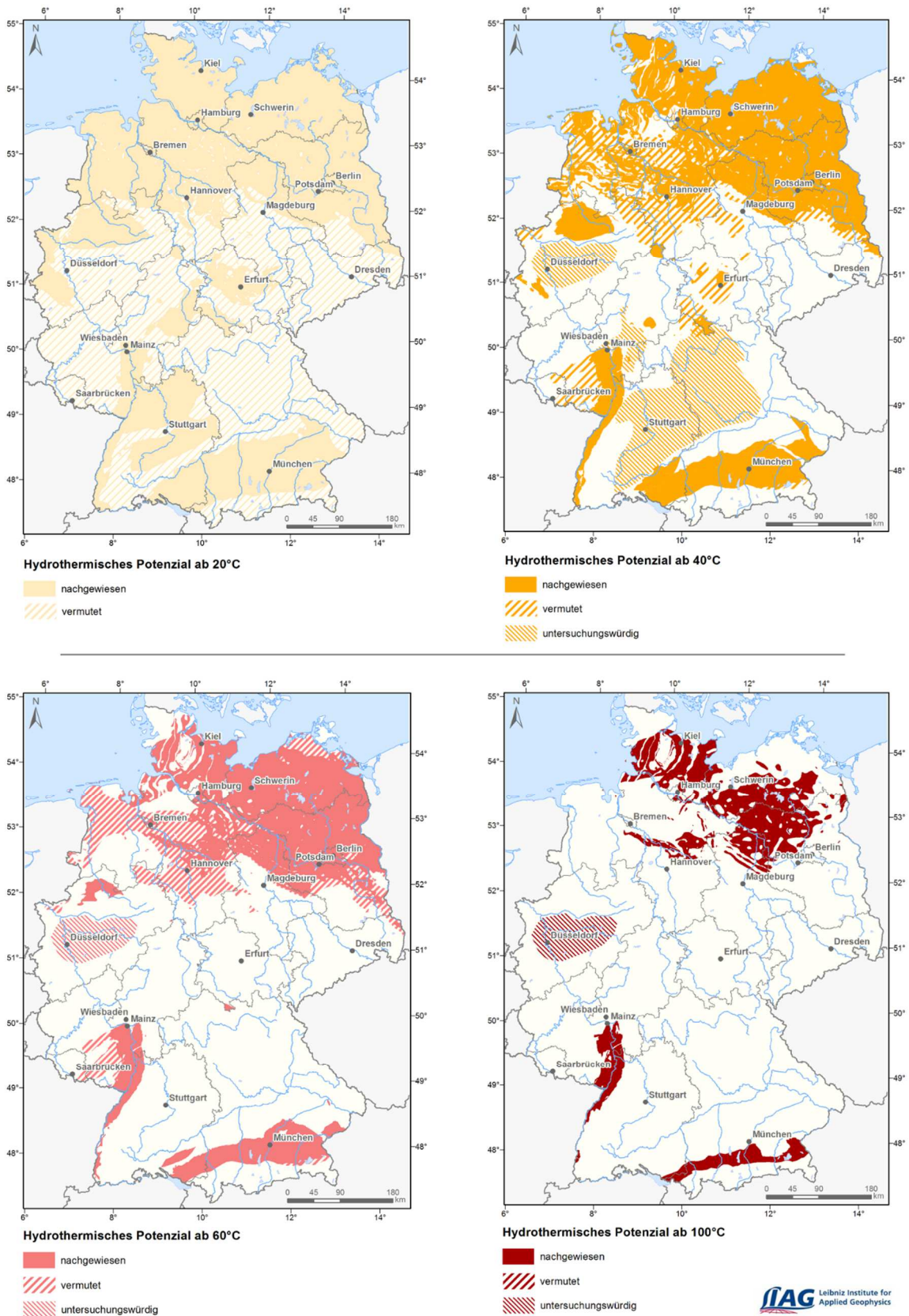


Abb. 5: Gebiete mit geothermischen Ressourcen in Deutschland ab einem Temperaturniveau von 20 °C (Karte oben links), ab 40 °C (Karte oben rechts), ab 60 °C (Karte unten links) und ab 100 °C (Karte unten rechts).

Wie wird sich der Wärmeverbrauch entwickeln?

Betrachtet man die bisherige Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland, so erscheinen jährliche Einsparungen von 2% durchaus realistisch, vorausgesetzt, die Sanierung des Gebäudebestands und die energetische Optimierung industrieller Prozesse werden verstärkt vorangetrieben. Eine jährliche Einsparung von 2% würde bewirken, dass sich der Wärmebedarf von 2016 bis 2050 auf etwa die Hälfte reduziert.

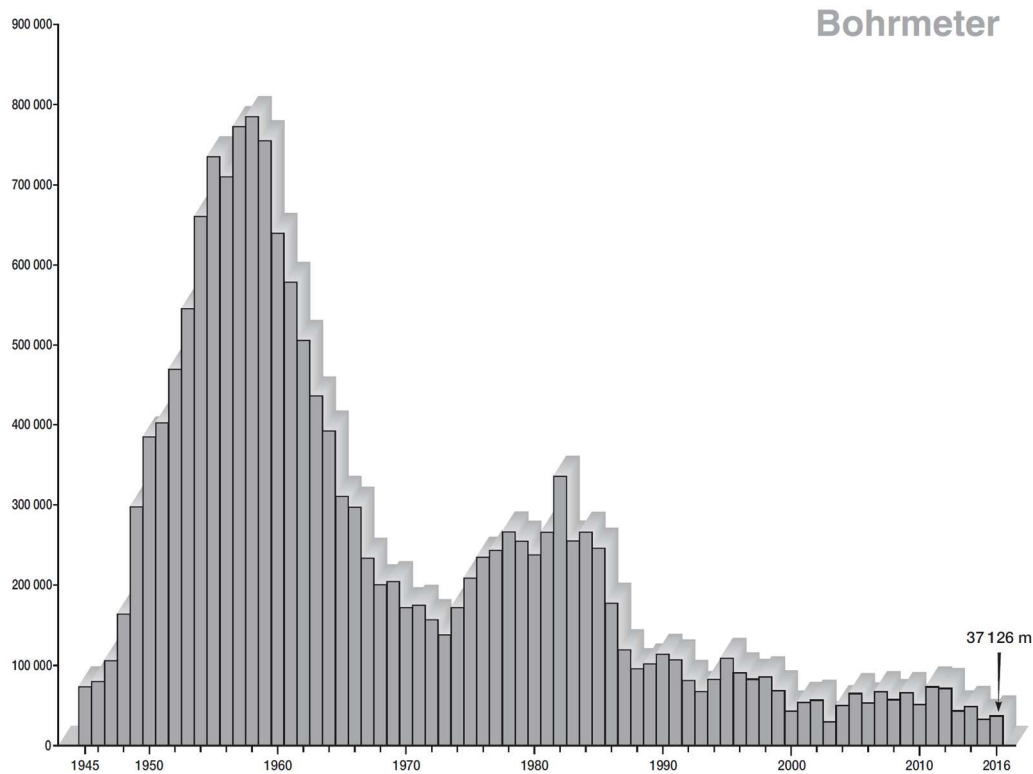


Abb. 6: Bohrmeter der Erdöl- und Erdgasbohrungen (ohne Speicherbohrungen) in Deutschland von 1945 bis 2016. Angaben vor 1990 beziehen sich nur auf Westdeutschland. (Quelle: [13])

Welche Rolle könnte die tiefe Geothermie 2050 spielen?

Bisher wird die tiefe Geothermie noch relativ wenig in Deutschland genutzt, dabei bietet sie großes Ausbaupotenzial. Im Unterschied zu anderen erneuerbaren Energien muss bei der Nutzung der tiefen Geothermie jedes Projekt individuell geplant werden, da die geologischen Verhältnisse im Untergrund sehr unterschiedlich sein können. Deshalb ist es wichtig, dass die Forschung in Erkundung und thermische Nutzung des tiefen Untergrunds intensiviert wird und Geothermieprojekte wissenschaftlich begleitet werden.

Die Unterschiede in der Wärmeleistung können bei Geothermieprojekten sehr groß sein und lassen sich nicht exakt vorherbestimmen. Während sich die Temperatur eines geothermischen Reservoirs noch recht gut vorhersagen lässt, ist die erzielbare Förderrate oft mit großer Unsicherheit verbunden. Die Erfahrung aus vielen Geothermieprojekten hat gezeigt, dass in Süddeutschland im Schnitt mit höheren Energieerträgen als in Norddeutschland pro Dublette zu rechnen ist. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass die geothermischen Systeme in Norddeutschland vor mehreren Jahrzehnten ohne moderne Richtbohrtechnik errichtet worden sind. Es könnte also durchaus sein, dass zukünftige Geothermieprojekte in Norddeutschland etwas höhere Leistungswerte aufweisen. Für die Abschätzung

der zukünftigen Entwicklung der geothermischen Wärmenutzung wird hier von der durchschnittlichen installierten geothermischen Leistung aller Anlagen zur Fernwärme und Gebäudeheizung mit Förderraten von >10 l/s in Nord- bzw. Süddeutschland auszugehen. Ein durchschnittliches Geothermie-Heizwerk verfügt über zwei Tiefbohrungen mit einer Gesamtlänge von 5,1 km. Dabei zeigt sich im statistischen Mittel, dass in Norddeutschland etwa 2,4 GWh und in Süddeutschland etwas 7,4 GWh pro Jahr und Bohrkilometer erzielt werden können, wenn man 3000 Vollbenutzungsstunden annimmt (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: Berechnung des jährlichen Zuwachses für tiefe Geothermie bei 790 Bohrkilometer (wie 1959) und 3000 Vollbenutzungsstunden (VBh) Fernwärme pro Jahr.

Region	Jahresproduktion pro Anlage bei 3000 VBh [GWh]	Berechnete Jahresproduktion pro Bohrkilometer [GWh/km]	Berechneter Zuwachs der Jahresproduktion für 790 Bohrkilometer pro Jahr [TWh]
Norddeutschland	8,8	2,4	1,9
Süddeutschland	40,3	7,4	5,8
Mittelwert aus Nord- und Süddeutschland:			3,9
10% nicht fündige Bohrungen:			-0,4
Zuwachs pro Jahr nach Abzug nichtfündiger Bohrungen:			3,5

Entscheidend für den künftigen Ausbau der tiefen Geothermie ist daher auch der Zeitraum, in dem die vorhandenen geothermischen Ressourcen und Reserven erschlossen werden können. Dieser wird maßgeblich von der Zahl der Bohrkilometer pro Jahr bestimmt. Hier lohnt sich ein Blick in die Vergangenheit. In den 50er Jahren wurde in Westdeutschland in wenigen Jahren die Zahl der Tiefbohrungen im Zuge der Erdöl- und Erdgasgewinnung pro Jahr enorm gesteigert (Abbildung 6).

Betrachtet man mit welchem Tempo und Aufwand in den 1950er Jahren in Deutschland Tiefbohrungen zur Erkundung und Förderung von Kohlenwasserstoffen niedergebracht wurden, so erscheint eine Vervielfachung der geothermischen Energiegewinnung in den nächsten 30 Jahren machbar, vorausgesetzt, es werden die richtigen Rahmenbedingungen geschaffen. Im Jahr 1959 wurden Tiefbohrungen mit einer Gesamtlänge von ca. 790 km abgeteuft. Würde man diese jährliche Bohrleistung auf die tiefe Geothermie heute übertragen, könnten jedes Jahr etwa 140 geothermische Heizwerke errichtet werden. Bei dieser Zahl sind schon 10% nicht-fündige Bohrungen abgezogen. Zwar werden Geothermiebohrungen mit einem etwas größeren Durchmesser als Öl- oder Gasbohrungen gebohrt, dafür blieben bei dieser Betrachtung 60 Jahre Fortschritte in der Tiefbohrtechnik unberücksichtigt.

Eine Steigerung der Bohrtätigkeit für Geothermieprojekte auf das Niveau der Kohlenwasserstoff-Industrie von 1959 in vergleichbarer Zeit würde einen jährlich Zuwachs von 3,5 TWh bedeuten, wobei der Anteil für Süddeutschland etwa dreimal so hoch ausfallen würde wie der von Norddeutschland. In 30 Jahren stünden dann etwa 104,5 TWh Wärme aus dem tiefen Untergrund pro Jahr zum Heizen, für Warmwasser oder als Prozesswärme zur Verfügung.

In einer aktuellen Studie des UBA von 2018 [14] wurden Karten der geothermischen Ressourcen mit Karten der Siedlungsflächen verschnitten und darüber hinaus Natur- und Wasserschutzgebiete als auch Nationalparks abgezogen. Danach stünden für die Gebäudeheizung und Fernwärme immer noch geothermische Ressourcen in Norddeutschland von etwa 158 TWh und in Süddeutschland von etwa 121 TWh pro Jahr für eine nachhaltige Wärmeversorgung zur Verfügung, also mehr als das Doppelte des geschilderten Ausbauszenarios für 2050.

Welche Rolle werden andere erneuerbare Energien spielen?

Um für das Jahr 2050 auf 60% erneuerbare Energien im Wärmesektor zu kommen, müssten auch durch Wärmepumpen bereitgestellte Wärme und Solarthermie zunehmen. Für das Szenario „60% erneuerbare Wärme“ wurde die Entwicklung der letzten Jahre als Grundlage für die Prognose für das Jahr 2050 genommen. Von 2005 bis 2015 lagen die jährlichen Zuwächse bei Wärmepumpen relativ konstant bei etwa 0,84 TWh und bei Solarthermie bei etwa 0,48 TWh. Würde man diese Entwicklung fortschreiben, käme man im Jahr 2050 auf 36,5 TWh Wärme durch Wärmepumpen und 22,2 TWh Solarthermie. Dieser Anteil der Solarthermie entspräche in etwa Sonnenkollektoren auf jedem zweiten Gebäude, wenn man von gleichbleibenden Energiebedarf für Warmwasserbereitung ausgeht.

Aufgrund des großen Flächenbedarfs bei der Erzeugung von Biomasse und der Nutzungskonkurrenz mit den Bereichen Nahrung, Verkehr und Chemie wird in dem Szenario „60% erneuerbare Wärme“ mit keiner Steigerung fester, flüssiger oder gasförmiger Biokraftstoffe im Wärmesektor bis 2050 gerechnet. Auch die Wärmeproduktion aus Klärgas wird in dem Szenario „60% erneuerbare Wärme“ als konstant angesehen.

Wie könnte der Wärmemix 2050 aussehen?

Nach den bisherigen Abschätzungen können knapp 50% erneuerbare Wärmeenergie erreicht werden, sofern die tiefe Geothermie eine Hauptrolle in dem zukünftigen Wärmemix übernehmen würde. Die fehlenden 10% (ca. 72,5 TWh) könnten durch eine weitere Reduzierung des Wärmeverbrauchs, Wärmespeicherung oder Nutzung von regenerativ erzeugtem Strom gedeckt werden, idealerweise durch Verwendung von überschüssigem Windstrom zum Befüllen von Wärmespeichern in Heizwerken, zur Warmwasserbereitung in Gebäuden oder in der Industrie zur Erzeugung von Hochtemperatur-Prozesswärme. Derzeit ist ein Betrieb von Power-to-Heat-Anlagen aufgrund der geringen Anzahl von Stunden mit negativen Strompreisen und der weiteren Strompreiskomponenten nicht wirtschaftlich. [15] Daher wird Power-to-Heat bisher in erster Linie im Rahmen des Regelleistungsmarktes eingesetzt. Der weitere Ausbau der Windenergie, der Einsatz von Großwärmepumpen, Veränderungen bei Steuern und Abgaben und Verzögerungen beim Netzausbau könnte die Wettbewerbssituation von Power-to-Heat verbessern.

Tab. 2: Szenario „60% erneuerbare Wärme“ – Beispiel für einen möglichen Wärmemix im Jahr 2050 mit 60% erneuerbaren Energien.

Energiequelle	Jahresproduktion [TWh]	Anteil am Wärmebedarf
Biomasse	140,0	22,2 %
Klärgas	2,1	0,3 %
Power-to-Heat	72,5	11,5 %
Solarthermie	22,2	3,5 %
Umweltwärme	36,5	5,8 %
Tiefe Geothermie	104,5	16,6 %
Fossile Energie	249,1	40 %

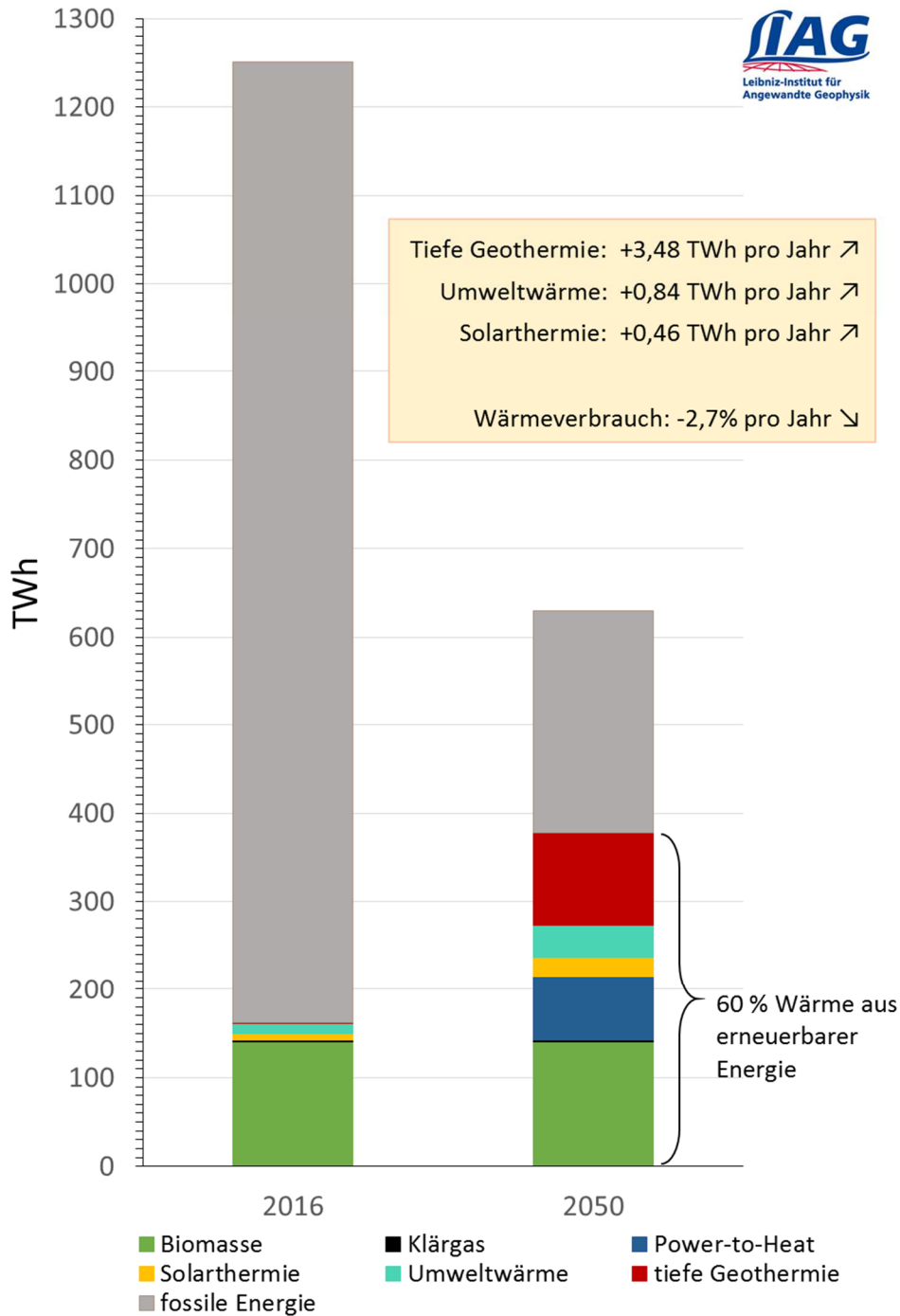


Abb. 7: Szenario „60% erneuerbare Wärme“: Mögliche Entwicklung des Wärmemixes in Deutschland bis 2050

Abbildung 7 zeigt das Ergebnis des Szenarios „60% erneuerbare Wärme“ als Veränderung des Wärmemixes in Deutschland bis 2050. Danach sind die deutschen Klimaschutzziele für 2050 mit einer Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie im Wärmesektor von derzeit 13% auf 60% erreichbar, wenn entsprechende Änderungen in der Steuer-, Abgaben- und Förderpolitik sofort umgesetzt werden. Vor allem müsste gezielt in den Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen investiert werden, da vermutlich nur ein Teil der bestehenden Fernwärmenetze auf Geothermie umgerüstet werden kann.

Alternativ zum Power-to-Heat Konzept könnte überschüssiger Strom aus regenerativen Quellen auch verwendet werden, um durch Elektrolyse Wasserstoff zu gewinnen, der zur Methanherzeugung verwendet werden kann. Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas und kann daher relativ leicht in das existierende Erdgasnetz mit seinen zahlreichen Kavernen eingespeist werden. Zu den Nachteilen von regenerativem Methan zählen jedoch Umwandlungsverluste von 35 bis 50% und hohe Gesteigungskosten, die das Dreifache von herkömmlichen Erdgas betragen können. [16] Hier ist zu überlegen, ob nicht der Bau von neuen Pumpspeichern zur Einspeisung von überschüssigem Strom aus regenerativen Quellen sinnvoller ist.

Vorteile der Geothermie

Deutsche Geothermie-Heizwerke geben im Betrieb praktisch keine schädlichen Emissionen in die Umwelt ab und die Wärme aus der Tiefe steht ganzjährig zur Verfügung. Während der Exploration und der anschließenden Bohrphase ist über wenige Wochen mit Lärmemissionen für die Anwohner zu rechnen. Dank neuer, großer Lärmschutzwände am Bohrplatz ist die Beeinträchtigung jedoch minimal. Lediglich der Strom, der für die Förderpumpe und den Betrieb des Fernwärmenetzes notwendig ist, führt dazu, dass die Emissionsbilanz der tiefen Geothermie nicht null ist (Abb 2). Da dieser Strombedarf jedoch sehr gering ist, ist der mit dem Betrieb verbundene Ausstoß an CO₂, Stickoxiden und Feinstaub pro Kilowattstunde Wärme deutlich geringer als beim Einsatz von Wärmepumpen und auch kleiner als beim Verfeuern von Holzpellets in einem Heizwerk.

Der Platzbedarf und die Auswirkungen auf das Landschaftsbild sind äußerst gering. Ein Geothermie-Heizwerk benötigt nicht mehr Raum als ein konventionelles Heizwerk. Weder werden wertvolle Anbauflächen benötigt, noch müssen Energierohstoffe aus dem Ausland importiert werden. Gegenüber der Solarthermie hat Geothermie den großen Vorteil, dass die Wärme aus dem Erdinneren zu jeder Jahreszeit, Tag und Nacht zur Verfügung steht.

Geothermisch erzeugte Fernwärme rechnet sich bereits jetzt an vielen Orten in Deutschland. Anders als beim regenerativ erzeugten Strom gibt es für regenerative Wärme keine garantierte Einspeisevergütung in Fernwärmenetze. Von dem Kraft-Wärmekopplungsgesetz können Geothermieprojekte nur dann profitieren, wenn das geförderte Thermalwasser mindestens 120°C heiß ist und eine Verstromung der tiefen Geothermie wirtschaftlich möglich ist. Für die meisten großen Geothermie-Anlagen in Deutschland stellt die Fernwärme die einzige Ertragsquelle dar. Wenn es darum geht, die Wärme- und Energieerzeugung nachhaltig, umweltschonend und zu vertretbaren Kosten zu gestalten, sollte, wo immer es geht, die tiefe Geothermie in Betracht gezogen werden.

Die Wirtschaftlichkeit eines Geothermie-Heizwerkes hängt dabei von mehreren Faktoren ab, in hohem Maße aber von der möglichen Förderrate, der Auslastung, der Thermalwassertemperatur und den Investitionskosten. Da sowohl die Untergrundtemperatur als auch die Bohrkosten mit der Tiefe zunehmen, sind Auslastung und Förderrate häufig die wichtigsten Kriterien für die Wirtschaftlichkeit. Die Auslastung wird in Vollbenutzungsstunden ausgedrückt und gibt an, wie viele Stunden die Anlage mit 100% Leistung laufen muss, um die Jahresproduktion an Wärme zu erzielen. Während die maximale Förderrate bergrechtlich begrenzt ist, lässt sich die Auslastung, bzw. die Zahl der Vollbenutzungsstunden im Jahr, steigern. Das Problem ist, dass die Nachfrage der Fernwärmekunden im Sommer kleiner ist als im Winter. Ist eine größere Auslastung als beispielsweise 2500 Vollbenutzungsstunden aus wirtschaftlichen Gründen erforderlich, könnte theoretisch entweder die geothermische Kapazität etwas kleiner oder das Fernwärmenetz etwas größer ausgelegt werden, um die tiefe Geothermie über einen längeren Zeitraum im Jahr bei voller Auslastung zu nutzen. Dies bedeutet jedoch gleichzeitig, den mit Erdgas oder einem nachwachsendem Brennstoff befeuerten Spitzenlastkessel häufiger einzusetzen. Da die geothermische Kapazität einer Dublette in erster Linie von der lokalen

Geologie und in zweiter Linie vom Bohrlochausbau bestimmt wird, geht eine Drosselung der geothermischen Leistung immer auch mit einer Reduzierung des Betriebsergebnisses einher. Erst mit einer weiteren Bohrung stellt sich ein direkter Zusammenhang zwischen Investitionskosten und geothermischer Kapazität ein.

Gelingt es industrielle Abnehmer mit einem gleichbleibenden Wärmebedarf zu finden, lässt sich die Zahl der Vollbenutzungsstunden bedeutend einfacher steigern. Auch ist es wirtschaftlich von Vorteil, die Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz weiter abzusenken, um die Leistung der Anlage zu erhöhen. Dies kann u. a. durch sogenannte Kaskadennutzung erreicht werden. Dabei erhalten Wärmeabnehmer mit niedrigen Temperaturanforderungen das Heizwasser von Abnehmern mit hohen Rücklauftemperaturen. So könnte beispielsweise der Rücklauf eines industriellen Abnehmers noch ausreichend heiß für Fernwärme sein und der Rücklauf der Fernwärme könnte am Ende noch zum Beheizen von Gewächshäusern genutzt werden.

Mit durchschnittlich 5 ct/KWh sind die Nettowärmegestehungskosten der geothermisch erzeugten Fernwärme deutlich höher als die überwiegend aus fossilen Energieträgern erzeugte Fernwärme, die bei 2-3 ct/KWh liegt. Im Vergleich zu Einzelfeuerungsanlagen sind aber selbst Nettowärmegestehungskosten von 7-8 ct/KWh marktfähig. Die Mehrkosten für eine nachhaltige, umwelt- und klimaschonende Wärmeversorgung durch tiefe Geothermie dürften daher vielerorts als vertretbar angesehen werden.

Damit sich erneuerbare Wärme am Markt schneller durchsetzt, wäre es sinnvoll, Wärmeerzeugung aus Kohle, Erdöl und Erdgas durch eine einheitliche CO₂-Abgabe zu verteuern. Schließlich sind die CO₂-Emissionen Deutschlands in den letzten zehn Jahren trotz Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) kaum gesunken. Offensichtlich sind die Verschmutzungsrechte im europäischen Emissionshandel für Fabriken und Kraftwerke schlicht zu günstig, um einen Anreiz zur weiteren Reduktion des CO₂-Ausstoßes zu geben. Auch im privaten Sektor fehlen finanzielle Anreize, um auf erneuerbare Wärme umzusteigen oder den Wärmeverbrauch noch stärker zu senken. Hier könnte der vom Verein CO₂-Abgabe vorgeschlagene zeitliche Pfad der CO₂-Bepreisung ein effektives Steuerungsinstrument zum Erreichen der Klimaschutzziele darstellen.

Fazit

Die energetische Gebäudesanierung schreitet zu langsam voran, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung für 2050 zu erfüllen. Fernwärmenetze stellen effiziente Versorgungssysteme für Heiz- und Prozesswärme dar. Geothermische Systeme könnten bedeutend schnelleren Fortschritt bei der Reduzierung der Kohlendioxidemissionen bei der Wärmebereitstellung ermöglichen und sollten durch gezielte Förderung überall dort zum Einsatz kommen, wo zum einen der lokale Wärmebedarf hoch genug ist und zum anderen auch tiefengeothermische Ressourcen wirtschaftlich erschlossen werden können. Da jedoch an jedem Standort die Geologie einzigartig ist, sollte jedes Projekt von der Vorkundung über die Erschließung bis zum Anschluss an ein Versorgungssystem wissenschaftlich begleitet werden, um Technologien und Methoden zu optimieren und das Fündigkeitsrisiko für weitere Projekte zu senken.

Um die Wärmewende zu schaffen, ist es erforderlich, dass tiefe Geothermie in Zukunft sowohl in bestehende als auch in neue Fernwärmenetze vorrangig eingespeist wird und auch Industriebetriebe tiefe Geothermie vermehrt als Prozesswärme einsetzen. Wenn dies konsequent umgesetzt wird, könnte bis 2050 tiefe Geothermie rund 17% des Wärmebedarfs in Deutschland decken. Damit würde die tiefe Geothermie die drittgrößte Wärmequelle im nationalen Wärmemix darstellen. Eine Vernachlässigung der tiefen Geothermie zugunsten anderer regenerativer Energien bei der Wärme-

wende hätte gravierende wirtschaftliche und ökologische Folgen. Eine Ausweitung der Holzverfeuerung kann bereits heute angesichts des begrenzten jährlichen Holzzuwachses nicht als nachhaltig angesehen werden. Flüssige und gasförmige Biomasse sollten zukünftig verstärkt fossile Energieträger in anderen Sektoren (Verkehr, Chemie) ersetzen. Sonnenenergie kann aufgrund der Angebotschwankungen nur einen kleinen Teil des Wärmebedarfs mit vertretbarem Aufwand decken. Das Szenario „60% erneuerbare Wärme“ zeigt einen Weg, wie die deutschen Klimaschutzziele noch erreicht werden können, wenn wir sparsamer mit Wärme umgehen, regenerative Wärme viel breiter einsetzen und fossile Energieträger durch CO₂-Abgaben unattraktiver machen. Letztlich gilt es Anreize für eine schnellere Reduktion klimaschädlicher Emissionen zu schaffen und die Kosten dafür gerecht zu verteilen.

Literaturverzeichnis

- [1] IPCC, „5th Assessment Report 2014,“ Genf, 2014.
- [2] Military Advisory Board, „National Security and the Threat of Climate Change,“ Alexandria, Virginia USA, 2007.
- [3] BMUB, „Klimaschutz in Zahlen - Fakten, Trends und Impuls deutscher Klimapolitik. Ausgabe 2017,“ Berlin, 2017.
- [4] C. Maaß, M. Sandrock und R. Schaeffer, „Fernwärme 3.0 - Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik,“ Hamburg, 2015.
- [5] I. Moeck und J. M. Kuckelkorn, „Tiefengeothermie als Grundlastwärmequelle in der Metropolregion München,“ *Forschung für die Wärmewende*, pp. 91-93, 2015.
- [6] Umwelt Bundesamt, „Endenergieverbrauch und spezifischer Wärmeverbrauch privater Haushalte von 1996 bis 2015,“ 2018. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_datentabelle-zur-abb_entwicklung-eev-ph_2018-02-23.pdf.
- [7] BMWi, „Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2016,“ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/Energiedaten/Energiegewinnung-und-Energieverbrauch/energiedaten-energiegewinnung-verbrauch-09.html> - Berlin, 2017.
- [8] BMWi, „Erneuerbare Energien in Zahlen,“ Berlin, 2016.
- [9] BMWi, „Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2017,“ Berlin, 2018.
- [10] BMEL, „Holzuwachs auf hohem Niveau,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.bundeswaldinventur.de>.
- [11] Umwelt Bundesamt, „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016,“ Dessau-Roßlau, 2017.
- [12] Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), „Geothermisches Informationssystem,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.geotis.de>.
- [13] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), „Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik 2016,“ Hannover, 2017.
- [14] Umwelt Bundesamt, „Kommunaler Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefegeothermischer Ressourcen,“ Berlin, 2018.
- [15] Agora Energiewende, „Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus erneuerbaren Energien,“ Berlin, 2014.
- [16] S. Sommer, „Lobby will Ökostrom im Gasnetz speichern.,“ *Manager Magazin*, 2012.