

## **Metastudie zur nationalen Erdwärmestrategie**

### **Ersatz fossiler Brennstoffe im Bereich Raumwärme und Warmwasser durch Geothermie als unverzichtbarer Bestandteil im Energiesektor Ökowärme bis 2045**

- Entwicklung des Energiebedarfs für  
Raumwärme und Warmwasser gespiegelt mit  
Ausbaupfaden der Geothermie –

Berichtsdatum: 28.04.2022  
Archiv-Nr.: Pre-Print

**Leibniz-Institut für  
Angewandte Geophysik  
Hannover**

**Metastudie zur nationalen Erdwärmestrategie**

**Ersatz fossiler Brennstoffe im Bereich Raumwärme und Warmwasser  
durch Geothermie als unverzichtbarer Bestandteil im Energiesektor Ökowärme  
bis 2045**

- Entwicklung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser  
gespiegelt mit Ausbaupfaden der Geothermie –

Sachbearbeitung:  
Fachlektorat:

Prof. Dr. Inga Moeck  
Dr. Josef Weber

Archiv-Nummer:  
Externe Reviews:

Pre-Print 28.04.2022  
erstes Review abgeschlossen, zweites  
Review laufend

## Inhalt

Zusammenfassung.....	2
<b>1. Einführung.....</b>	<b>3</b>
1.1. Anlass und Zweck .....	3
1.2. Geothermie als Ersatz von fossilen Brennstoffen im Bereich Raumwärme und Warmwasser .....	4
<b>2. Bereich Raumwärme und Warmwasser .....</b>	<b>7</b>
2.1. Entwicklung des Energiebedarfs von 2008 bis 2020 .....	7
2.2. Reduktion im Energiebedarf von 2008 bis 2020.....	8
2.3. Szenarien für die Reduktion im Energiebedarf von 2022 bis 2045.....	9
2.4. Empfehlungen für eine solide Reduktion im Energiebedarf bis 2045 .....	10
2.5. Prognose des Energiebedarfs von 2022 bis 2045 .....	11
<b>3. Ökowärme Geothermie .....</b>	<b>13</b>
3.1. Zur Verfügung stehende Studien zum geothermischen Potential in Deutschland.....	13
3.2. Ausbaupfade für die oberflächennahe Geothermie (erdgekoppelte Wärmepumpen) .....	17
3.3. Ausbaupfade für die tiefe Geothermie.....	19
<b>4. Synthese.....</b>	<b>21</b>
4.1. Entwicklung der Ökowärme für den Bereich Raumwärme/Warmwasser bis 2045 .....	21
4.2. Vermeidung von CO <sub>2</sub> Emissionen durch Bedarfsreduktion und Einsatz von Geothermie statt fossiler Brennstoffe im Sektor Raumwärme/Warmwasser .....	22
4.3. Bedeutung der Geothermie für die Versorgungssicherheit .....	25
4.4. Handlungsempfehlungen zum soliden Ausbau der Ökowärme .....	25

## Danksagung

Den Reviewern ist an dieser Stelle für ihre gründliche Durcharbeitung dieser Studie ausdrücklich gedankt. Ein Review kommt aus dem technischen Bereich, ein Review kommt aus dem Forschungsbereich.

## Zusammenfassung

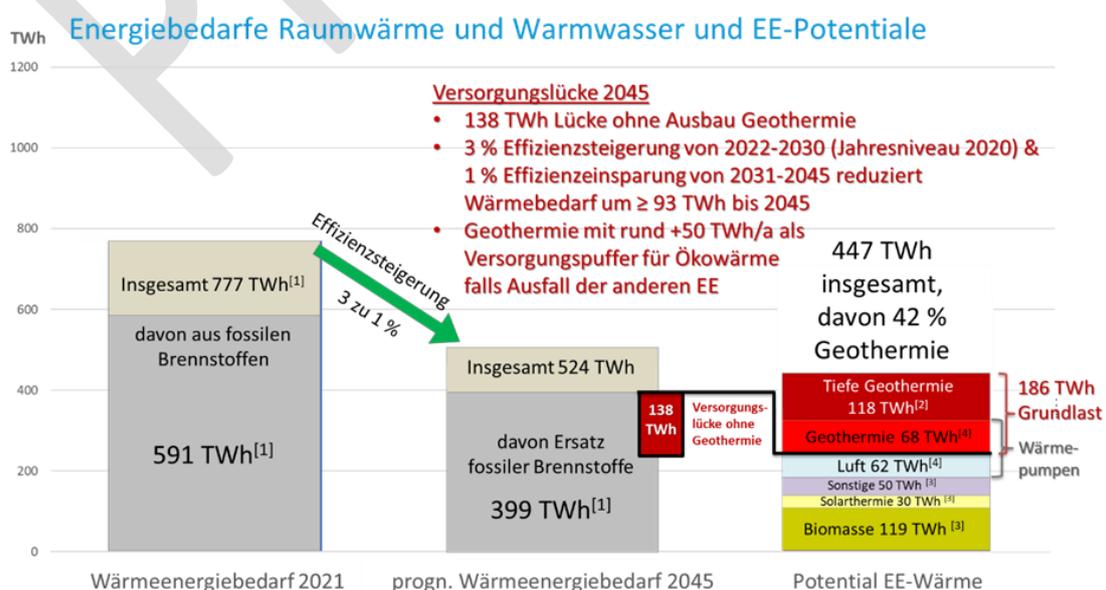
Insgesamt sind Dreiviertel der Wärmeversorgung Deutschlands von Importen kohlenstoffhaltiger Brennstoffe abhängig, davon Erdgas zu 51 %, Erdöl zu 24 % und Kohle zu 0,4 %. Im Jahr 2020 betrug der Energieverbrauch im Bereich Raumwärme/Warmwasser 777 TWh, das entsprach 33,4 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Von den insgesamt 777 TWh wurden 591 TWh im Jahr 2020 durch fossile Energieträger abgedeckt. Im Zuge der Dekarbonisierung des Wärmesektors muss zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele dieser Anteil fossiler Wärmeversorgung durch Ökowärme ersetzt werden. Ohne einen durch Sofortmaßnahmen initiierten, massiven Ausbau der Geothermie scheint der Aufbau des Ökowärmesektors nicht möglich.

Der Ausbau der Geothermie ist mit der Reduktion des Energiebedarfs im Bereich Raumwärme/Warmwasser zu flankieren. Ein Modell solider Bedarfsreduktion sieht eine Einsparung von 3 % pro Jahr bis 2030 und von 1 % pro Jahr bis 2045 vor, ausgehend vom Verbrauchsniveau 2020. Allein durch diese Bedarfsreduktion verringern sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich Raumwärme/Warmwasser von jetzt etwa 89 Mio. Tonnen um insgesamt 19 Mio. Tonnen im Jahr 2030 und um 29 Mio. Tonnen im Jahr 2045.

Erdgekoppelte Wärmepumpen werden mit der oberflächennahen Geothermie (ONG) assoziiert und sind durch ihre höheren Jahresarbeitszahlen gegenüber luftgekoppelten Wärmepumpen zu bevorzugen. Hier sollten effiziente Technologien gefördert werden, mit dem Ziel, den Anteil erdgekoppelter Wärmepumpen von derzeit knapp 30% auf gut 50% der insgesamt verbauten Wärmepumpen zu heben. Nur so kann ein durch den Betrieb von Wärmepumpen bis 2045 entstehender zusätzlicher Strombedarf von etwa durchschnittlich 4 TWh/a – gerade im Winter zu Spitzenlastenzeiten – vermieden werden. Auf Basis vorliegender Potentialstudien wird ein solider Ausbaupfad der ONG und der TG (tiefe Geothermie einschließlich mitteltiefer Geothermie) mit Zielwerten in Jahresscheiben formuliert. Insgesamt kann durch Geothermie ein Heizenergiebedarf von 186 TWh bis 2045 gedeckt werden, wodurch etwa 21 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden. Ohne Ausbau der Geothermie würde im Ökowärmesektor bis 2045 eine Versorgungslücke von mindestens 138 TWh entstehen. Eine effiziente Nutzung etablierter geothermischer Technologien sieht die Nutzung des geologischen Untergrunds für die Deckung des Bedarfs an Wärme, Kühlung und Speicherung vor.

Ausbaupfad Geothermie (Quellen: BEE, Sandrock Studie, Bundesverband Wärmepumpe Branchenstudie 2021 und Dena TM95)							
2022		2030		2040		2045	
ONG	TG	ONG	TG	ONG	TG	ONG	TG
TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
10	1,4	46	10	59	56	68	118
		Wachstum in TWh/a ggü. 2022		Wachstum in TWh/a ggü. 2030		Wachstum in TWh/a ggü. 2040	
		4,50	1,08	1,30	4,60	1,80	12,40

### Szenario Dena TM95 und 3 zu 1 Modell zur Effizienzsteigerung der letzten 12 Jahre



## 1. Einführung

### 1.1. Anlass und Zweck

Im Zuge der Ausarbeitung der nationalen Erdwärmestrategie wird eine solide Zusammenstellung zum Energiebedarf der Bundesrepublik Deutschland im Bereich Raumwärme und Warmwasser benötigt. Der Blick in die Vergangenheit der letzten 12 Jahre zeigt, wie der Bereich Raumwärme und Warmwasser in der Zukunft auf Ökowärme umgestellt werden kann.

Eine zentrale Rolle in der Bereitstellung von Ökowärme zur Wärmewende spielt die Geothermie. Ihr stufenweiser Ausbau ist ohne verlässliche Potentialangaben allerdings nicht planbar. Auch wenn bereits verschiedene Studien zum Potential der Geothermie vorliegen, fehlt bislang eine Studie, die die zur Verfügung stehenden Daten zum Energieverbrauch im Bereich Raumwärme und Warmwasser zusammenfassend analysiert, dabei gleichzeitig umsetzbare Ausbaustufen der Geothermie formuliert und zudem die Nebeneffekte der Umstellung von fossilen Brennstoffen auf die Ökowärme Geothermie wie z. B. zusätzlicher Strombedarf der Wärmepumpen oder Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht.

Diese Metastudie untersucht zur Verfügung stehende Potentialstudien zur Geothermie auf Vor- und Nachteile mit dem Ziel, die – im Sinne der Umsetzbarkeit – jeweils geeignetste Studie für (I) die oberflächennahe Geothermie bzw. den Zuwachs in den Stückzahlen von Wärmepumpen und für (II) die tiefe Geothermie einschließlich der mitteltiefen Geothermie bzw. dem Potential der tiefen Geothermie zu identifizieren.

Nach diesem einführenden Kapitel befasst sich das zweite Kapitel mit dem Bereich Raumwärme und Warmwasser. Hier wird der Energieverbrauch seit 2008 untersucht <sup>[1]</sup>, um daraus solide Einsparziele zur Reduktion des Energiebedarfs abzuleiten. Eine Prognose des Energiebedarfs wird in Jahresscheiben dargestellt, um die Einsparziele über ein Jahresscreening kontrollieren zu können.

Das dritte Kapitel befasst sich mit der Geothermie als zentralem Baustein der Wärmewende. Unterteilt wird die Geothermie technologisch in den Bereich erdgekoppelte Wärmepumpen, der generell der oberflächennahen Geothermie entspricht, und den Bereich tiefe Geothermie. Hier werden auf Basis ausgewählter Studien Ausbauziele zusammengestellt und erreichbar erscheinende Ausbaupfade abgeleitet.

Das vierte Kapitel bildet eine Synthese, wie der Bereich Raumwärme und Warmwasser durch den Einsatz von Ökowärme als Ersatz fossiler Brennstoffe bis 2045 vollständig transformiert werden kann. Wie sich dabei herausstellt, ist diese Transformation ohne den umfänglichen Einsatz der Geothermie nicht vollständig möglich.

Eine Plausibilitätsprüfung zur Umsetzbarkeit der Ausbaustufen der Geothermie und der damit verbundenen Nebeneffekte leistet diese Studie nicht.

**Der Bedarf an Wärmeenergie, auch der Heizenergie ist die Menge an Energie, die im Heizbetrieb zum Heizen von Gebäuden und Warmwasser benötigt wird. Die tatsächliche Umsetzung im Heizbetrieb während eines definierten Zeitabschnitts wird allgemein als *Wärmeverbrauch* oder *Energieverbrauch im Bereich Raumwärme oder Warmwasser* bezeichnet <sup>[1]</sup>. Für eine allgemeine Verständlichkeit wurden in dieser Studie daher einige Begriffe physikalisch streng genommen nicht korrekt verwendet, z.B. Energieverbrauch, Stromverbrauch oder Energieerzeugung, da Energie gewandelt aber physikalisch streng genommen nicht verbraucht oder erzeugt wird.**

## 1.2. Geothermie als Ersatz von fossilen Brennstoffen im Bereich Raumwärme und Warmwasser

**Dreiviertel (76 %) der derzeitigen Wärmeversorgung einschließlich Fernwärme werden in Deutschland durch die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle abgedeckt** <sup>[1]</sup>. Auf das Jahr 2018 bezogen lag dieser Anteil noch bei 72,6 % <sup>[2]</sup>.

Der zusammengefasste Bereich Raumwärme/Warmwasser ist besonders abhängig von Importen fossiler Energieträger. Im Jahr 2020 betrug der Bedarf an Raumwärme 645 TWh, der für Warmwasser 132 TWh. **Zusammengefasst beträgt der Energieverbrauch schließlich auf 777 TWh/a, das entspricht 33,4 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland** <sup>[1]</sup>. Von den insgesamt 777 TWh wurden im Jahr 2020 zu 76 % (= 591 TWh) durch fossile Energieträger abgedeckt (Tabellen 1 und 4).

Insgesamt sind Dreiviertel der Wärmeversorgung Deutschlands von Importen kohlenstoffhaltiger Brennstoffe abhängig, davon Erdgas zu 51 %, Erdöl zu 24 % und Kohle zu 0,4 % <sup>[1]</sup>. **Insgesamt müssen damit 591 TWh/a (2.309 PJ) aus Erdgas, Erdöl und Kohle ersetzt werden.**

**Die Wärmeversorgung der Bevölkerung ist daher ganz besonders abhängig von Importen fossiler Brennstoffe.**

Bislang werden nur 15,2 % des Wärmebedarfs durch erneuerbare Wärme abgedeckt <sup>[1]</sup>, obwohl der Wärmesektor mit etwa 56 % den größten Anteil am deutschen Endenergieverbrauch ausmacht <sup>[2]</sup>. Die Energiewende kann nur gelingen, wenn dieser Wärmesektor dekarbonisiert wird <sup>[3]</sup>. Bei der Raumwärme ist Erdgas, wie oben dargestellt, mit einem Anteil von 51 % derzeit die am häufigsten genutzte Energiequelle <sup>[1]</sup>.

		davon Öl	Gas	Kohle	FW
	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
Raumwärme	2.309	541	1.082	21	197
in %	100	23	47	1	9
Warmwasser	474	91	223	1	22
in %	100	19	47	0	5

**Tabelle 1:** Anteil der Energieträger Erdöl, Erdgas, Kohle am Gesamtenergieverbrauch im Bereich Raumwärme und Warmwasser <sup>[1]</sup>. Das Fernwärmesegment wird aus weiteren Anteilen fossiler Brennstoffe gespeist. Die der Anteile fossiler Brennstoffe in der Fernwärme sind in Tabelle 2 dargestellt, die Korrektur der fossilen Anteile durch Addition der Fernwärmeanteile an den fossilen Anteilen im Gesamtenergieverbrauch in Raumwärme/Warmwasser ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Angaben beziehen sich auf das Jahr 2020.

FW		Öl in %	Öl in PJ	Gas in %	Gas in PJ	Kohle in %	Kohle in PJ
Gesamt RW	197	14,1	27,8	46,8	92,2	12	23,2
Gesamt WW	22	14,1	3,1	46,8	10,3	12	2,6

**Tabelle 2:** Energiemengen fossiler Brennstoffe in der Fernwärme in 2020.

		davon Öl	Gas	Kohle
	PJ	PJ	PJ	PJ
Raumwärme	1.787	569	1.174	45
in %	100	32	66	3
Warmwasser	328	95	233	1
in %	100	29	71	0

		davon Öl	Gas	Kohle
	TWh	TWh	TWh	TWh
Raumwärme	499	159	328	12
in %	100	32	66	3
Warmwasser	92	26	65	0
in %	100	29	71	0

**Tabelle 3:** Korrektur der Einzelanteile fossiler Brennstoffe am Energieverbrauch Raumwärme und Warmwasser um die Anteile fossiler Brennstoffe aus der Fernwärme [1]. Obere Tabelle: Angaben in Petajoule (PJ), untere Tabelle: Angaben umgerechnet in TWh.

			RW+WW	RW+WW
	PJ	TWh	TWh Gesamt	in%
Raumwärme	2.309	645	777	
in %		83%	davon	
Warmwasser	474	132	RW+WW fossil	
in %		17%	591	

**Tabelle 4:** Zusammenfassung des Energieverbrauchs: im Bereich Raumwärme (RW) 645 TWh und im Bereich Warmwasser (WW) 132 TWh, insgesamt 777 TWh in 2020 [2], davon der Anteil fossiler Raumwärme und Warmwasser 591 TWh (siehe Tabelle 3) und Prozent am Energieverbrauch Raumwärme und Warmwasser.

### Die Geothermie ist gerade im Wärmesektor ein idealer Ersatz für fossile Brennstoffe.

Die thermische Energie Geothermie speist sich aus dem natürlichen und stetigen Wärmestrom der Erde. Sie ist damit als einzige erneuerbare Energiequelle im System Ökowärme grundlastfähig. Gas-, Öl- und Kohle-Heizungssysteme können durch Geothermie-Heizungen ersetzt werden. Die Geothermie ist daher eine ideale Alternative zu Erdgas, Erdöl und Kohle für Raumwärme und –kälte. Bei der erneuerbaren Wärme macht die Geothermie jedoch bislang nur einen Anteil von 10 % aus, also nur rund 1,5 % des gesamten Wärmebedarfs in Deutschland [4]. Dabei steht schon jetzt eine große Bandbreite geothermischer Technologien zum Einsatz bereit, um den geothermischen Untergrund in verschiedenen Tiefen effizient zu nutzen.

Quellen für Kapitel 1:

[1] Zahlen und Fakten: Energiedaten, Arbeitsblatt 7 und 7a, BMWK, Stand 21.01.2022, <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/energiedaten.html>

[2] Sandrock, M., Maaß, C., Weisleder, S., Westholm, H., Schulz, W., Löschan, G., Baisch, C., Kreuter, H., Reyer, D., Mangold, D., Riegger, M., Köhler, C. (2020): Kommunalen Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefergeothermischer Ressourcen. Abschlussbericht, Climate Change 31/2020, 357 Seiten, [www.uba.de](http://www.uba.de)

[3] Bracke, R., Huenges, E, et al. (2022): Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland, 2022

[4] AGEE-Stat / Umweltbundesamt, Stand 02/2021

Pre-Print

## 2. Bereich Raumwärme und Warmwasser

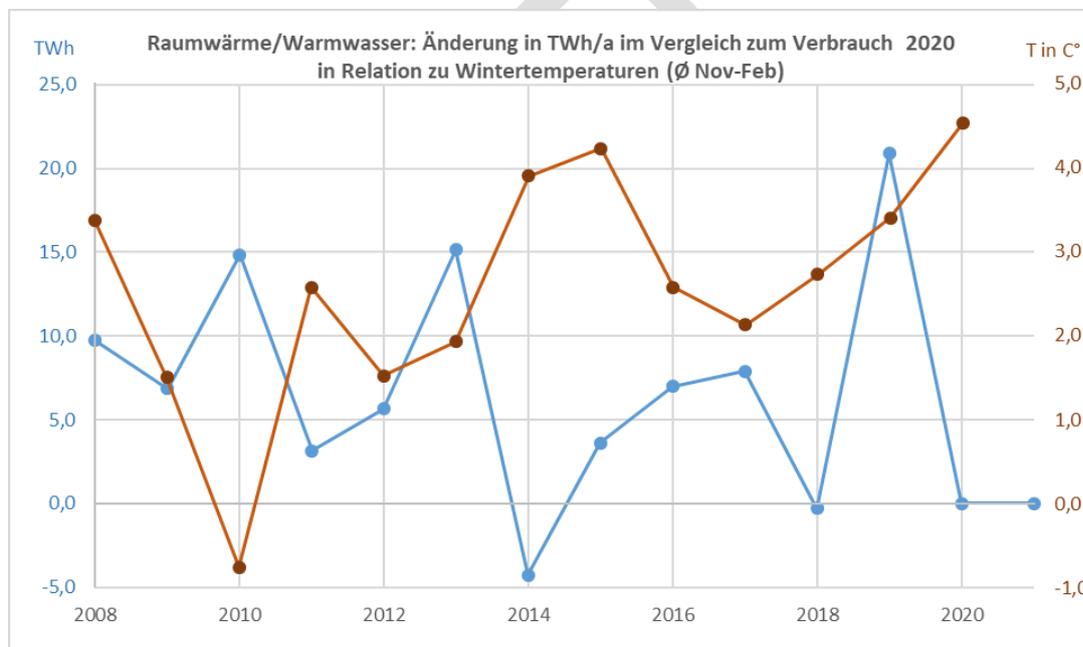
### 2.1. Entwicklung des Energiebedarfs von 2008 bis 2020

Der Energiebedarf im Bereich Raumwärme und Warmwasser ist jährlichen Schwankungen unterworfen <sup>[1]</sup>. In Abbildung 1 ist die Differenz zwischen dem Energiebedarf des jeweiligen Jahres und dem Energieverbrauch von 777 TWh in 2020 dargestellt (blaue Kurve). Außerdem sind in Abbildung 1 die Durchschnittstemperaturen der Winter angegeben, die sich aus den Durchschnittstemperaturen <sup>[2]</sup> der Monate Januar, Februar, November und Dezember des jeweiligen Kalenderjahres ergeben (Betrachtung nach Kalenderjahren, nicht nach Heizperioden).

Die Schwankungen im Energiebedarf Raumwärme korrelieren generell mit den Schwankungen der Durchschnittstemperaturen des jeweiligen Winters <sup>[2]</sup> (Abb. 1, braune Kurve). So ist der Energieverbrauch in 2010 mit den kalten Wintermonaten um 72,9 TWh zum Vorjahr (von 853 TWh im Jahr 2009, siehe Abb. 2) und um 15 TWh zu 2020 (Abb. 1) gestiegen, während die milden Wintermonate in 2014 zu einer Reduktion des Energieverbrauchs um 131,6 TWh zum Vorjahr (von 883 TWh im Jahr 2013, siehe Abb. 2) und um 4,3 TWh zu 2020 (Abb. 1) geführt haben. Eine hier nicht nachvollziehbare Ausnahme bildet das Jahr 2019, in dem trotz milder Wintermonate ein signifikanter Bedarf an Heizenergieverbrauch zu verzeichnen ist. Im Rahmen dieser Studie kann diese Anomalie nicht aufgeklärt werden.

Insgesamt beträgt die Reduktion im Wärmebedarf im Bereich Raumwärme/Warmwasser gemittelt über 12 Jahre von 2008 bis 2020 9,7 TWh/a.

In dieser Studie kann nicht aufgelöst werden, welchen Anteil die beiden Einflussfaktoren „mildere Winter“ und „Gebäudesanierung“ an der Wärmebedarfsreduktion von 2008 bis 2020 einnehmen.



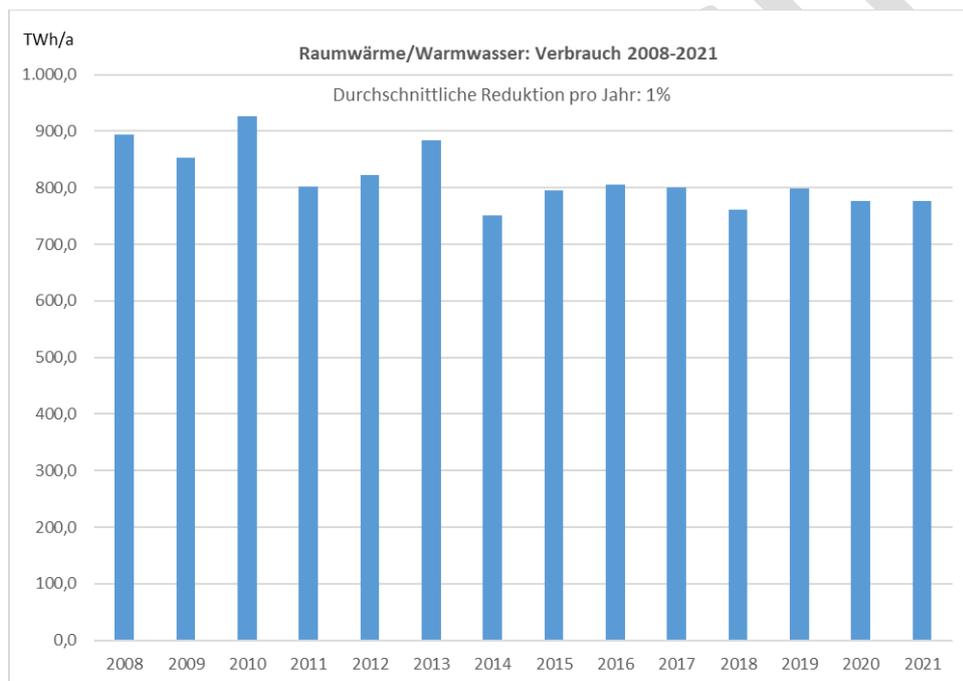
**Abbildung 1:** Differenzen im Energieverbrauch für Raumwärme/Warmwasser des jeweiligen Jahres zu 2020 <sup>[1]</sup> (blaue Kurve). Durchschnittstemperaturen von Januar, Februar, November und Dezember des jeweiligen Jahres <sup>[2]</sup> (braune Kurve).

## 2.2. Reduktion im Energiebedarf von 2008 bis 2020

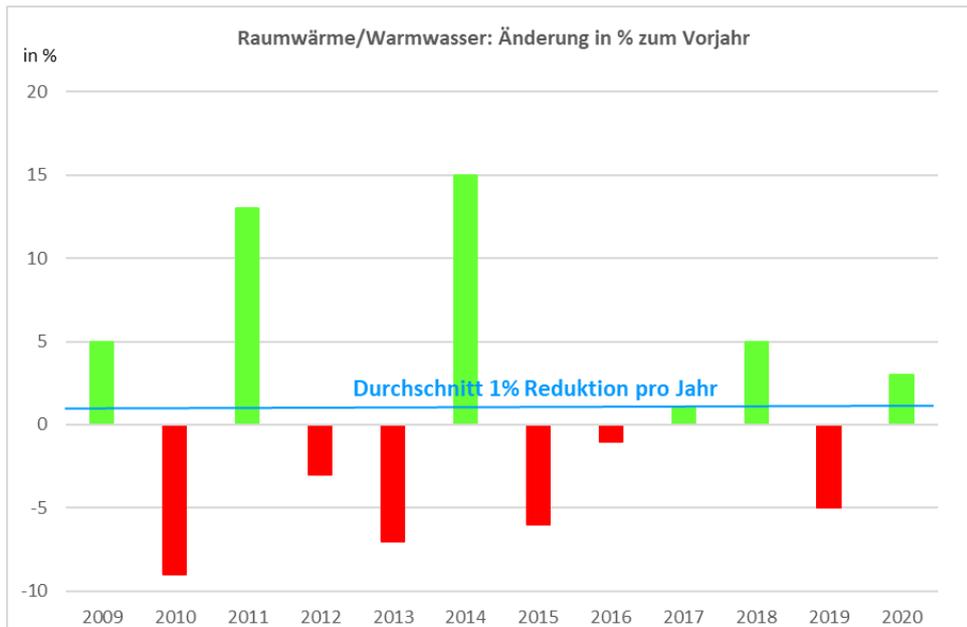
Von 2008 bis 2020 ist der Energieverbrauch im Bereich Raumwärme/Warmwasser um 116,6 TWh gesunken <sup>[1]</sup>, was gemittelt einer jährlichen Reduktion von 9,7 TWh/a entspricht. Der höchste Energieverbrauch in diesem Zeitraum lag mit 925,5 TWh im Jahr 2010, während der niedrigste Verbrauch von 751,7 TWh im Jahr 2014 lag (Abb. 2).

Eine jährliche Einsparung von 9,7 TWh/a entspricht einer durchschnittlichen Einsparung von 1 % pro Jahr im Energieverbrauch (Abb. 3). Die höchste Einsparung im Vergleich zu einem Vorjahresniveau wurde mit 15 % in 2014 erzielt, die größte Erhöhung im Energieverbrauch im Vergleich zum Vorjahresniveau trat im Jahr 2010 mit minus 9 % auf (Abb. 3). Im Jahr 2020 lag die Einsparung im Vergleich zum Vorjahreswert bei 3 %.

Die durchschnittliche Reduktion von 1 % im Energieverbrauch kann mit dem Wirken der Effizienzsteigerung durch Gebäudesanierung erklärt werden. Wie in Kapitel 2.1 (Abb. 1) dargestellt, kann die Reduktion im Energieverbrauch für Raumwärme/Warmwasser jedoch auch mit den tendenziell mildereren Wintern zu tun haben. Auch beides zusammen kann die beobachtete Bedarfsreduktion erklären.



**Abbildung 2:** Absoluter Energieverbrauch im Bereich Raumwärme/Warmwasser von 2008 bis 2020. Von 893,9 TWh in 2008 zu 777,3 TWh in 2020 entwickelte sich der Energieverbrauch regressiv mit einer jährlichen Reduktion von 9,7 TWh/a, was einer jährlichen Einsparung von 1 % entspricht.



**Abbildung 3:** Einsparung (grüne Balken) und Erhöhung (rote Balken) im Energieverbrauch für Raumwärme / Warmwasser in Prozent zum Vorjahreswert. Durchschnittlich wurde 1 % pro Jahr eingespart.

### 2.3. Szenarien für die Reduktion im Energiebedarf von 2022 bis 2045

Aus dem Energieverbrauch der letzten 12 Jahre kann der zukünftige Energiebedarf bis 2045 im Bereich Raumwärme/Warmwasser durch verschiedene Szenarien abgebildet werden.

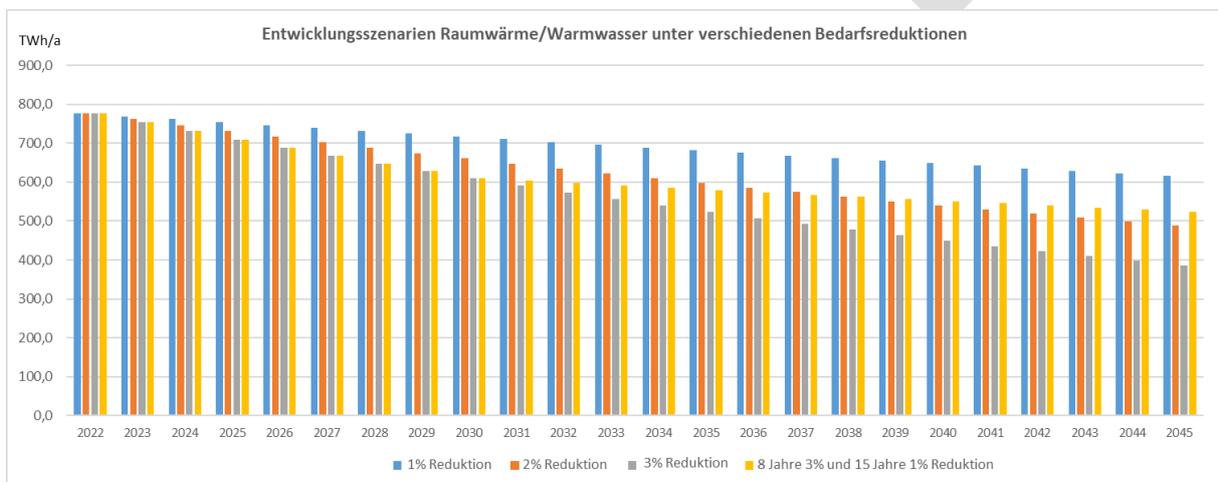
Vier verschiedene Szenarien können als realistische betrachtet werden:

- Fortsetzung der gemittelten Bedarfsreduktion der letzten 12 Jahre, also 1 % pro Jahr bis 2045. Dieses Szenario wird als leicht umsetzbar erachtet, da es bereits in der Vergangenheit erfüllt wurde.
- Verdopplung der gemittelten Bedarfsreduktion der letzten 12 Jahre, also 2 % pro Jahr bis 2045. Dieses Szenario wird als schwierig erachtet, da eine erhöhte Sanierungsquote über den langen Zeitraum von 2022 bis 2045 aufrecht gehalten werden muss. Das ist in der Vergangenheit nicht gelungen.
- Fortsetzung der Bedarfsreduktion von 2020 zum Vorjahr 2019, das wären 3 % pro Jahr bis 2045. Dieses Szenario wird als sehr schwierig erachtet, da eine hohe Sanierungsquote über den langen Zeitraum von 2022 bis 2045 gehalten werden muss. Das ist in der Vergangenheit nicht gelungen.
- Eine Hybridmodell mit Fortsetzung der Bedarfsreduktion von 3 % aus 2020, für acht Jahre von 2022 bis 2030, um in diesem Zeitraum zügig die leicht umsetzbaren Gebäudesanierungen durchzuführen; im Anschluss kann für weitere 15 Jahre mit der gemittelten Bedarfsreduktion der Jahre 2008-2020 gerechnet werden, also von 2030 bis 2045 mit 1 % Reduktion pro Jahr. Das Hybridmodell wird als ambitioniert aber machbar betrachtet, da nur über einen überschaubaren Zeitraum eine erhöhte Sanierungsquote zu einer Bedarfsreduktion führen soll. In diesem Zeitraum kann in der Gebäudesanierung das umgesetzt, was relativ schnell und ohne großen Aufwand durchgeführt werden kann. Nach diesem Zeitraum sind die einfach durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen erschöpft und die langwierigen, schwierigeren Maßnahmen in der Gebäudesanierung werden umgesetzt. Nach dem Zeitraum von acht Jahren leichter Sanierungsmaßnahmen wird also für die Folgejahre von der gemittelten Bedarfsreduktion ausgegangen, die bereits von 2008 bis 2020 erreicht wurde und daher als

machbar erscheint. Dieses Hybridmodell wird im folgenden Text als 3 % zu 1 % Modell bezeichnet.

Die absoluten Werte für den Energiebedarf pro Jahr in diesen vier verschiedenen Szenarien für den Zeitraum von 2022 bis 2045 sind in Abbildung 4 dargestellt.

- Im 1 %-Szenario liegt der Energiebedarf in 2030 bei 717 TWh und in 2045 bei 617 TWh (blaue Balken).
- Im 2 %-Szenario liegt der Energiebedarf in 2030 bei 661 TWh und in 2045 bei 488 TWh (orangene Balken).
- Im 3 %-Szenario liegt der Energiebedarf in 2030 bei 609 TWh und in 2045 bei 386 TWh (graue Balken).
- Im 3 % zu 1 %-Szenario liegt der Energiebedarf in 2030 bei 609 TWh und in 2045 bei 524 TWh (gelbe Balken).



**Abbildung 4:** Szenarien für die Entwicklung des Energiebedarfs für Raumwärme/Warmwasser unter Berücksichtigung verschiedener Reduktionen pro Jahr bis 2045.

## 2.4. Empfehlungen für eine solide Reduktion im Energiebedarf bis 2045

Die Wärmewende setzt mit Ausbau der Ökowärme eine Bedarfsreduktion im Energiebedarf Raumwärme/Warmwasser voraus. Die Fortsetzung der bisherigen Bedarfsreduktion von 1 % pro Jahr erscheint zu gering, um bis 2045 100 % Klimaneutralität im Raumwärme/Warmwasser-Sektor zu erreichen.

Durch eine gezielte Förderkulisse kann die Gebäudesanierung forciert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Gebäude energetisch saniert werden können. Eine Sanierungsquote von 100 % ist als unrealistisch zu betrachten. Zudem kann der bereits viel diskutierte Fachkräftemangel im Bausektor <sup>[3]</sup> eine Beschleunigung in der Gebäudesanierung stark begrenzen.

Eine Fortsetzung der in 2020 erreichten Bedarfsreduktion von jährlich 3 % (entspricht 29 TWh/a) bis 2045 erscheint vor diesem Hintergrund ambitioniert, wenn auch in den Jahren 2009, 2011, 2014 und 2018 deutlich höhere Bedarfsreduktionen erzielt werden konnten, welche aber wahrscheinlich auch milderer Wintermonaten zugeordnet werden können.

Für eine solide Planung der Bedarfsreduktion im Energiebedarf Raumwärme/Warmwasser sollten jedoch nicht Maximalwerte, sondern praktikable Durchschnittswerte genutzt werden. Eine jährliche

Bedarfsreduktion von 29 TWh über einen Zeitraum von 23 Jahren erscheint sehr hoch und in dieser Größenordnung aus den o.g. Gründen nicht durchführbar.

Mit Blick auf die o. g. Gründe erscheint auch das 2 %-Szenario zu ambitioniert. Über einen Zeitraum von 23 Jahren müssten pro Jahr 19,4 TWh eingespart werden. Nur mit einer entsprechenden Förderkulisse und einem jährlichen Screening zur Kontrolle der Einsparziele könnte dieses hohe Niveau in der Sanierungsquote möglicherweise gehalten werden. Ob die Einsparziele jedoch über einen entsprechend langen Zeitraum auf hohem Niveau gehalten werden können, ist sehr unsicher.

Eine praktikable Zielvorgabe zur notwendigen Bedarfsreduktion wäre das 3 % zu 1 % Hybridmodell, nach der das Einsparniveau des Jahres 2020 von 3 % pro Jahr ab jetzt für weitere acht Jahre bis 2030 gehalten wird, um dann mit einem geringeren Einsparniveau von 1 % pro Jahr bis 2045 den Wärmebedarf weiter zu reduzieren. Durch eine gezielte Förderkulisse für die Gebäudesanierung sollte es auch bei weniger milden Wintern als den von 2020 und 2019 gelingen, die Einsparung von 3 % pro Jahr bis 2030 zu erreichen.

Hierfür ist ein jährliches Screening über die Einsparziele im Energiebedarf des Raumwärmesektors durchzuführen, um möglicherweise weitere Maßnahmen durch Anpassung der Förderkulisse zur Erreichung der Einsparziele bis 2045 einzuleiten.

## 2.5. Prognose des Energiebedarfs von 2022 bis 2045

Unter der Voraussetzung, dass das 3 % zu 1 % Modell durchgeführt wird, kann der Energiebedarf im Bereich Raumwärme/Warmwasser bis 2045 in Jahresscheiben prognostiziert werden (Abb. 5).

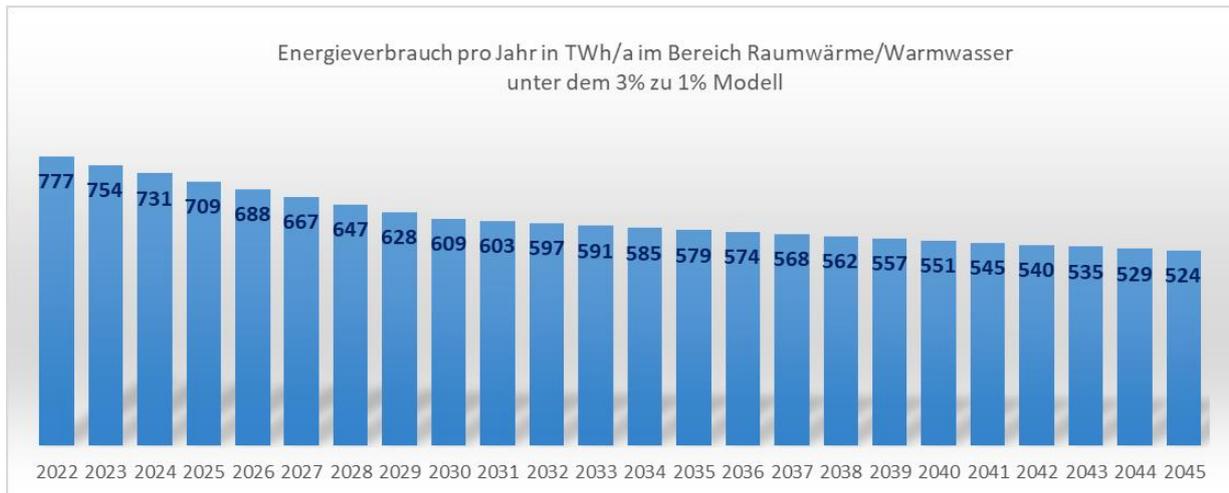
Die Einsparziele könnten durch eine gezielte Förderkulisse besonders in den Jahren 2022-2030 hochgehalten werden. Das Ziel sollte sein, das Einsparniveau von 2020 von 3 % pro Jahr bis 2030 fortzusetzen.

Bei erfolgreicher Umsetzung der Maßnahmen aus einer geeigneten Förderkulisse würde der Energiebedarf für Raumwärme/Warmwasser in 2030 bei 609 TWh liegen. Sollte in 2030 der Energiebedarf noch deutlich über diesem Wert liegen, müsste die Förderkulisse zielgerecht angepasst werden. Ist der Zielwert von 609 TWh/a bereits vor 2030 erreicht, ist von einem Erfolg der Maßnahmen aus der Förderkulisse auszugehen.

**Sollte wie vorgesehen in 2030 der Zielwert von 609 TWh/a erreicht sein, kann das Einsparpotential auf einem bereichsüblichen Niveau von 1 % pro Jahr weitergetrieben werden. Der Zielwert für den Energiebedarf im Bereich Raumwärme/Warmwasser in 2045 beträgt 524 TWh/a.**

Die Reduktion im Energiebedarf ist gleichbedeutend mit einer Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, gerade in dem bislang durch fossile Brennstoffe geprägten Raumwärme/Warmwasser-Bereich.

**Im Jahr 2020 wurde entsprechend der Verbrauchsanteile an Erdöl, Erdgas und Kohle (Tabelle 2) das Klima durch 87 bis 89 Mio. t (je nach Braunkohleanteil) CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energiebedarf für Raumwärme/Warmwasser geschädigt, wie im Kapitel 4.2 näher erläutert wird. Allein durch die Bedarfsreduktion des 3 % zu 1 % Einsparmodells werden bis 2030 insgesamt 19 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen und bis 2045 insgesamt 29 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Bereich Raumwärme / Warmwasser vermieden.**



**Abbildung 5:** Entwicklung des Energiebedarfs im Bereich Raumwärme/Warmwasser bei einer Reduktion von 3 % pro Jahr von 2022 bis 2030 (Niveau von 2020) und 1 % von 2031 bis 2045 (Durchschnitt von 2008-2020).

Quellen für Kapitel 2:

[1] Zahlen und Fakten: Energiedaten, Arbeitsblatt 7 und 7a, BMWK, Stand 21.01.2022, <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/energiedaten.html>

[2] Monatliche Durchschnittstemperaturen in Deutschland, Aufzeichnungen seit 1881, Deutscher Wetterdienst, Stand 02.04.2022, [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/regional\\_averages\\_DE/monthly/air\\_temperature\\_mean/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/regional_averages_DE/monthly/air_temperature_mean/)

[3] Bracke, R., Huenges, E, et al. (2022): Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland, 2022

## 3. Ökowärme Geothermie

### 3.1. Zur Verfügung stehende Studien zum geothermischen Potential in Deutschland

Während Wind und Sonne als Energiequellen für Ökostrom prädestiniert sind, eignet sich die Geothermie als Energiequelle für Ökowärme.

Die Geothermie ist eine erneuerbare Energie des geologischen Untergrunds. Sie speist sich aus dem natürlichen Wärmestrom der Erde und den thermischen Eigenschaften der Erdkruste. Die energetische Nutzung der Geothermie bedeutet, natürlich vorkommende thermische Energie energetisch oder den geothermischen Untergrund zur Energiespeicherung zu nutzen. Die Energiequelle ist zum einen die Restwärme aus der Entstehungszeit der Erde, und zum anderen Zerfallswärme, die beim Zerfall von Elementen in der Erdkruste freigesetzt wird.

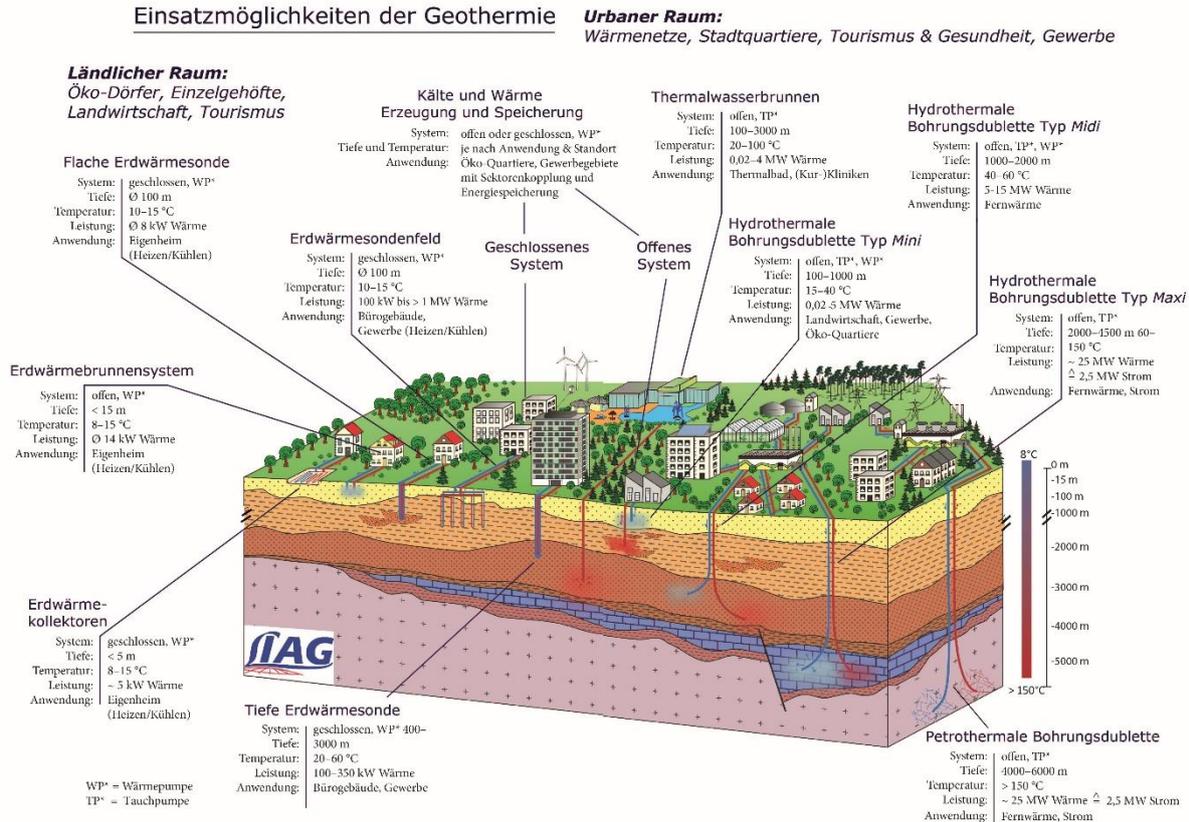
Aus verschiedenen Perspektiven kann die Geothermie nach Tiefe oder Nutzungstechnologie unterteilt werden. Tiefe und Nutzungstechnologien stehen im Zusammenhang: Die oberflächennahe Geothermie (ONG) steht in Verbindung mit dem Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen, die tiefe Geothermie (TG) steht in Verbindung mit dem Einsatz hydrothermalen Dubletten, bei denen heißes Thermalwasser energetisch genutzt wird. Bei einer Bohrungsdublette wird eine Bohrung energetisch (Produktionsbohrung) und eine Bohrung für die Aufrechterhaltung der Nachhaltigkeit (Injektionsbohrung) genutzt. Durch die technologische Entwicklung im Wärmepumpensektor stehen mittlerweile Großwärmepumpen zur Verfügung, die den Einsatz von Wärmepumpen in geothermischen Temperaturbereichen von 40-70°C zulassen, um auf die notwendige Vorlaufemperatur eines Wärmenetzes zu kommen. Diese Reservoirtemperaturen kommen in Deutschland je nach Region in Tiefen zwischen 500 m und 2.000 m vor. Für diesen Bereich hat sich der Begriff der mitteltiefen Geothermie (MTG) etabliert. Auch wenn der Begriff bereits lose etabliert ist, wird er zurzeit in dem Forschungsprojekt mesoTherm (FKZ 03EE4011, BMWK) hergeleitet.

Zur Abgrenzung der oberflächennahen zur tiefen Geothermie ist die Untergrenze der ONG von 400 m bereits weit akzeptiert. Die Tiefe 400 m wird in der VDI-Richtlinie 4640 genutzt, die sich mit der Bemessung, Einbringung und Montage von Erdwärmepumpen und Erdwärmesonden befasst. 400 m ist jedoch keine zwingend technologisch begründete Grenze. Sonden und Erdwärmepumpen können auch in größeren Tiefen eingesetzt werden.

Entscheidend für einen schnellen Ausbau der Geothermie für Ökowärme ist der Einsatz bereits etablierter geothermischer Technologien. Hierzu gehören alle Technologien, die bereits in der Praxis verwendet werden. Die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten geothermischer Technologien je nach Wärmebedarf ist in Abbildung 6 dargestellt <sup>[1]</sup>. Ein Leistungsspektrum von 5 kW für Einfamilienhäuser bis zu mehr als 15 MW für kommunale Wärmenetze wird durch praxistaugliche geothermische Technologien abgebildet.

Ein besonderes Entwicklungspotential gerade für die große Zahl kleinerer Kommunen hat die mitteltiefe Geothermie, bei der sich Investitionskosten und thermische Leistung in einem günstigen Verhältnis halten.

Zu unterscheiden ist zudem zwischen der hydrothermalen und der petrothermalen Geothermie. Dies sind Begrifflichkeiten, die nur im deutschsprachigen Raum verwendet werden. Die hydrothermale Geothermie gehört zu den etablierten, marktfähigen Technologien mit 38 bereits funktionierenden Anlagen in Deutschland. Ein Hemmnis zum Ausbau der hydrothermalen Geothermie ist nach wie vor das Explorationsrisiko verbunden mit hohen Anfangsinvestitionen für die Exploration (geophysikalische Erkundung und Bohrung oder nur Bohrung, je nach Datenlage und vor Ort Situation).



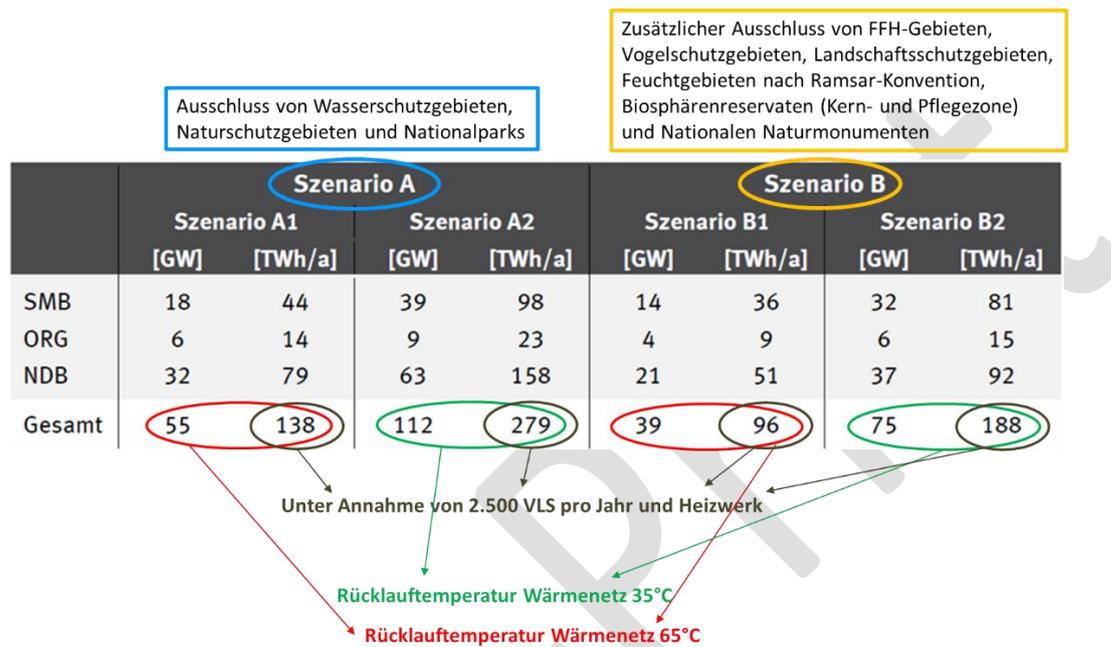
**Abbildung 6:** Bandbreite der geothermischen Technologien, die für den Ausbau des Ökowärmesektors zur Verfügung stehen <sup>[1]</sup>. Die Einsatzmöglichkeiten der Geothermie sind für verschiedene Energiebedarfe und Tiefen je nach geothermischer Temperaturstufe dargestellt. Die Temperaturwerte stellen die ungestörten Untergrundtemperaturen dar.

Die Broschüre *Wärmewende mit Geothermie* befasst sich mit den Einsatzmöglichkeiten der Geothermie für die Wärmewende <sup>[1]</sup>. Sie wurde erstmalig im November 2018 vom LIAG herausgegeben und über [www.geotis.de](http://www.geotis.de) frei zur Verfügung gestellt. Die Broschüre liegt derzeit in der 4. Auflage vor. Aus der Broschüre geht deutlich hervor, dass eine effiziente Nutzung etablierter geothermischer Technologien die erweiterte Nutzung des geologischen Untergrunds für Wärme, Kälte und Speicherung vorsieht. Zusätzlich zur energetischen Nutzung des Thermalwassers können Beiprodukte wie Lithium als Rohstoffe gefördert werden, was derzeit Forschungsgegenstand ist. Auch die petrothermale Geothermie ist Forschungsgegenstand.

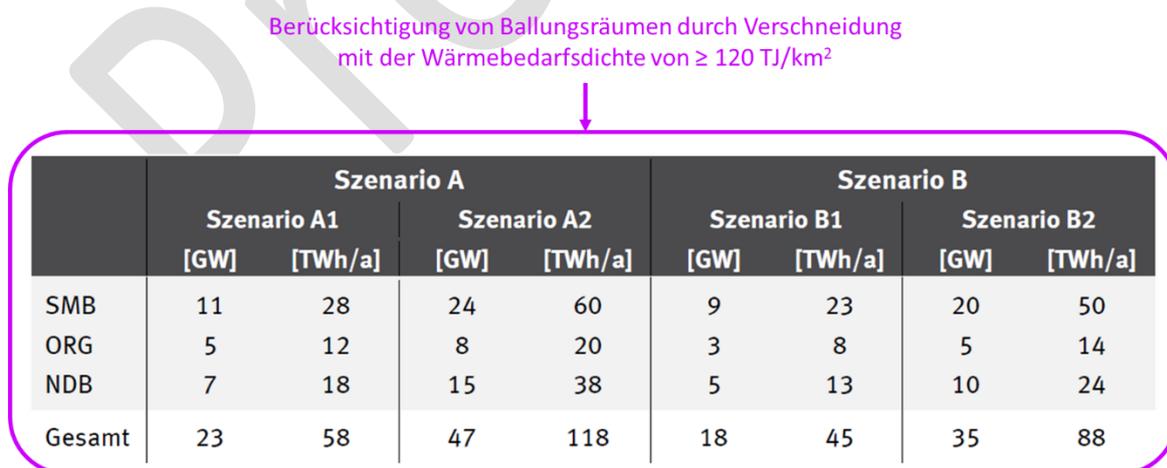
Die Studie *Die Rolle der tiefen Geothermie bei der Wärmewende* <sup>[2]</sup> ist eine der ersten Studien zum Potential der Geothermie als Ökowärme. Die Methodik der Studie basiert auf Bohrkilometern, die mit thermischer Leistung korreliert werden. Unter der Voraussetzung, dass bis 2050 790 Bohrkilometer abgeteuft werden, könnten im Jahr 2050 104,5 TWh Wärmeenergie durch tiefe Geothermie gewonnen werden. In dieser Studie wird das gesamte geothermische Potential betrachtet, aber es wird nicht berücksichtigt, ob es mit Wärmesenken geographisch übereinstimmt.

In einer sehr umfangreichen Studie im Auftrag des UBA <sup>[3]</sup> mit dem Titel *Kommunaler Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefegeothermischer Ressourcen* haben Sandrock et al. das Potential der hydrothermalen Provinzen Norddeutsches Becken, Oberrheingraben und Süddeutsches Molassebecken berechnet. Die Informationen zu den Lagegebieten und Temperaturfeldern der hydrothermalen Provinzen wurden aus dem GeotIS sachgerecht entnommen.

Die Autoren unterscheiden zwischen dem technischen Angebots- und dem Bereitstellungspotential. Bereits beim Angebotspotential werden 2.500 Volllaststunden pro Jahr und Heizwerk einberechnet. Sowohl im Angebots- als auch im Bereitstellungspotential werden zwei Rücklauftemperaturen der Wärmenetze angenommen, einmal 65 °C und einmal 35 °C. Zudem werden Wasserschutzgebiete, Naturschutzgebiete und Nationalparks sowie FFH-Gebiete und weitere Naturschutzgebiete von den Potentialgebieten abgezogen, was das Angebotspotential bereits erheblich reduziert (Abbildung 7). Beim technischen Bereitstellungspotential wird zudem eine Wärmebedarfsdichte von  $\geq 120 \text{ TJ/km}^2$  berücksichtigt, die Bedarfsdichte wurde also mit dem geothermischen Potential verschnitten (Abbildung 8).



**Abbildung 7:** Erklärung des technischen Angebotspotentials - Aufschlüsselung der Annahmen und mögliche Wärmemengen pro Jahr in den hydrothermalen Ressourcen im Süddeutschen Molassebecken (SMB), Oberrheingraben (ORG) und Norddeutschem Becken (NDB) nach der Sandrock-Studie [3]. Tabelle aus [3].

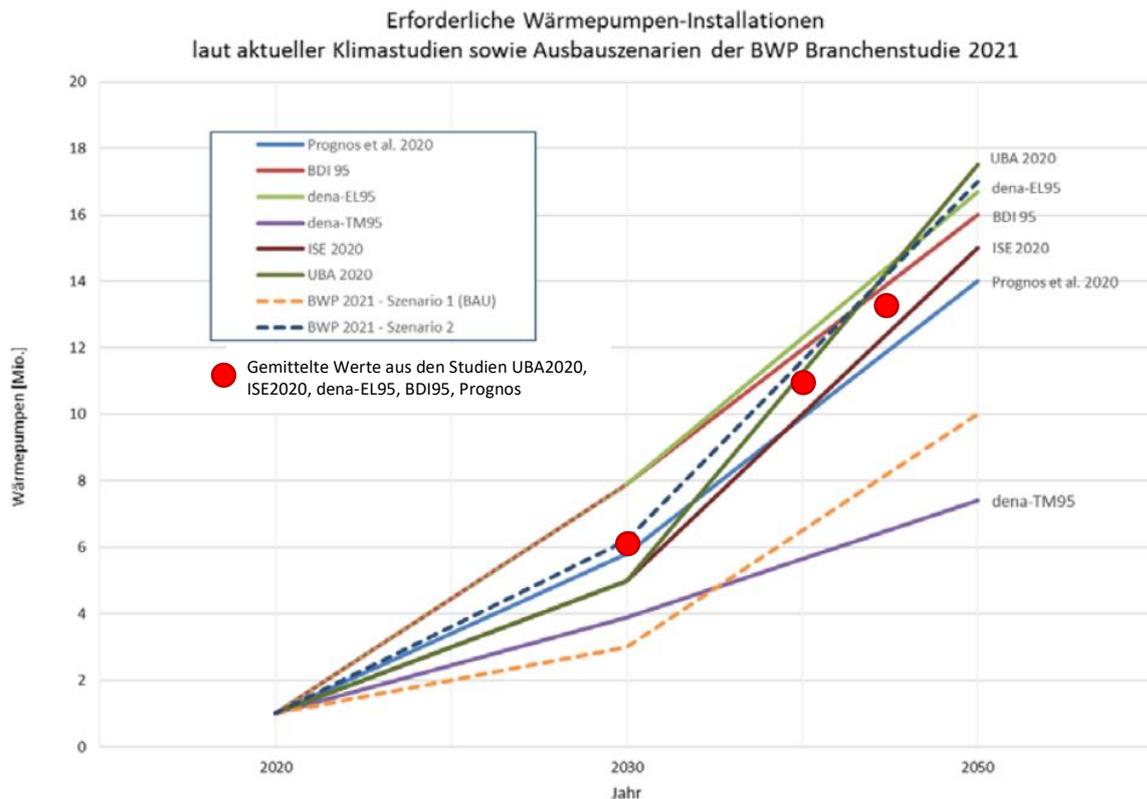


**Abbildung 8:** Technisches Bereitstellungspotential – Basierend auf den Potential- und Arbeitswerten wurde in der Sandrock-Studie die Wärmebedarfsdichte mit dem geothermischen Potential verschnitten. Tabelle aus [3].

Der Wert 118 TWh/a ist als ein plausibler Wert für die Bereitstellung geothermischer Wärme durch die Tiefengeothermie anzusehen, unter der Annahme, dass die Rücklauftemperatur kommunaler Wärmenetze deutlich reduziert werden wird. Da die Modernisierung von Bestandswärmenetzen oder

der Bau neuer Wärmenetze zeitaufwendig ist, wird das Potential von 118 TWh/a als Langfristziel für den Ausbau der tiefen Geothermie in 2045 angesehen. Es ist davon auszugehen, dass durch den Ausbau der mitteltiefen Geothermie auch in Peripherie-Gebieten der hydrothermalen Provinzen tiefegeothermische Energie mittels etablierter Technologien genutzt werden kann. 118 TWh/a ist daher ein solider Zielwert für die Ausbaustufe der tiefen Geothermie bis 2045.

Die Roadmap zur tiefen Geothermie <sup>[4]</sup> basiert auf der Sandrock-Studie und verknüpft ohne nähere Angaben das geothermische Potential der Ballungsregion Rhein-Ruhr, die eine hohe Wärmebedarfsdichte hat, mit dem Potential aus der Sandrock-Studie, das das technische Angebotspotential für Gesamtdeutschland ohne Einbeziehung der Wärmebedarfsdichte darstellt, also 279 TWh/a. Die Rhein-Ruhr-Region wird in der Roadmap als hydrothermales Gebiet angenommen, was in der Sandrock-Studie nicht der Fall ist. So wird das technische Angebotspotential von 279 TWh/a, also der kumulative Wert der drei hydrothermalen Provinzen Deutschlands und ohne Einbeziehung der Wärmebedarfsdichte und unter Annahme von Wärmenetzen mit einer Rücklauftemperatur von 35°C, mit dem geothermischen Potential von 120 bis 150 TWh/a der erweiterten Rhein-Ruhr-Region verrechnet und gemittelt. 100 TWh wird als Ausbaziel für die tiefe Geothermie bis 2030 und 300 TWh ab 2040 für Deutschland genannt.



**Abbildung 9:** Ausbaupfade für die Anzahl installierter Wärmepumpen auf Basis verschiedenerer Klimastudien. Abbildung modifiziert aus <sup>[5]</sup>. Die roten Punkte sind gemittelte Werte aus verschiedenen Studien <sup>[6]</sup> zum möglichen Aufwuchs der installierten Stückzahlen von Wärmepumpen (sowohl Luft- als auch Erdwärmepumpen).

Zur ONG (oberflächennahe Geothermie) steht über den Bundesverband Wärmepumpe eine Roadmap 2021 zu Verfügung <sup>[5]</sup>, die wiederum verschiedene Klimastudien und Ausbaupotentiale von Wärmepumpeneinsätzen zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors zusammenfasst. Die dargestellten Ausbaupotentiale unterliegen großen Schwankungsbreiten. Im unteren Feld mit konservativer Berechnungsgrundlage ist die Dena TM95-Studie zu nennen, die von einem jährlichen Zuwachs von 336.875 Wärmepumpen bis 2030 ausgeht, während ein gemittelter Wert aller Studien

einen Zuwachs der Stückzahlen von 599.375 Wärmepumpen repräsentiert (Abbildung 9). Erdgekoppelte Wärmepumpen und Luftgekoppelte Wärmepumpen werden in den Ausbaupfaden nicht getrennt aufgeführt, die Roadmap 2021 geht aber von einem Verhältnis von etwa 2 zu 1 von Luft- zu Erdwärmepumpen aus <sup>[5]</sup>.

### 3.2. Ausbaupfade für die oberflächennahe Geothermie (erdgekoppelte Wärmepumpen)

Derzeit sind in Deutschland rund 1,2 Mio. Wärmepumpen installiert. Das Verhältnis von Luft- zu Erdwärmepumpen beträgt etwa 2 zu 1. Erdwärmepumpen stellen zurzeit knapp 10 TWh/a <sup>[5]</sup> Heizwärme zur Verfügung.

In den Tabellen 3 bis 5 sind mögliche Entwicklungsszenarien und die daraus resultierenden Ausbaustufen in Abhängigkeit von der verbauten Stückzahl, der bereitgestellten Heizenergie und dem Stromverbrauch von Wärmepumpen dargestellt. Zwei unterschiedliche Wachstumsprognosen und zwei unterschiedliche Verhältnisse in der Anzahl von Luft- zu Erdwärmepumpen wurden betrachtet.

Die Wachstumsprognose nach der Dena TM95-Studie <sup>[6]</sup> stellt eine solide, konservative Annahme für das Wachstum im Wärmepumpenmarkt für die Jahre 2022-2030 dar. Sie unterscheidet sich für diesen Betrachtungszeitraum von dem Durchschnittswert aus den in der BWP Roadmap 2021 dargestellten Studien UBA2020, ISE2020, dena-EL95, BDI95, Prognos (Abbildung 9). Der Unterschied ergibt sich aus der Anzahl der zusätzlichen Wärmepumpen, die jährlich verbaut werden. Nach der Dena TM95-Studie werden von 2022 bis 2030 jährlich 336.875 zusätzliche Wärmepumpen, von 2030 bis 2040 jährlich 240.000 zusätzliche Wärmepumpen und von 2040 bis 2045 jährlich 110.000 zusätzliche Wärmepumpen verbaut. Nach dem aus verschiedenen Studien gebildeten Durchschnittswert der BWP Roadmap 2021 werden von 2022 bis 2030 jährlich 599.375 zusätzliche Wärmepumpen und von 2030 bis 2045 jährlich 500.000 zusätzliche Wärmepumpen verbaut.

Unter der Annahme, dass das Verhältnis von Erd- zu Luftwärmepumpen weiterhin wie derzeit bei 1 zu 2 liegt, würden unter der Dena TM95-Studie bis 2030 jährlich 121.613 neue Erdwärmepumpen verbaut. Unter der Annahme, dass sich das Verhältnis von Erd- zu Luftwärmepumpen auf 1 zu 1 ändert, würden bis 2030 189.375 neue Erdwärmepumpen pro Jahr verbaut werden.

Eine Plausibilitätsprüfung über die Durchführbarkeit der oben genannten Installationszahlen erfüllt diese Metastudie nicht.

In den nächsten acht Jahren sollte also besonders auf die Entwicklung des Wärmepumpenmarkts geachtet werden, um einschätzen zu können, welcher der beiden Ansätze der realen Entwicklung im Wärmepumpenmarkt entspricht.

Die Entwicklung des Wärmepumpenmarkts kann durch eine gezielte Förderkulisse positiv beeinflusst werden. Ein höherer Anteil erdgekoppelter Wärmepumpen wirkt sich auf den Strombedarf der Wärmepumpen aus. Bezogen auf das Wachstumsszenario der Dena TM 95-Studie wird beispielsweise 1,6 TWh/a weniger Strom benötigt, wenn das Verhältnis von Erdwärme- zu Luftwärmepumpen bei 1 zu 1 statt 1 zu 2 liegt. Der Strombedarf der Wärmepumpen ist in den Tabellen 3 bis 5 nach Gesamtzahl der Wärmepumpen und aufgeschlüsselt nach Luft- und Erdwärmepumpenanzahl präsentiert. Ein möglichst hoher Anteil an Erdwärmepumpen wirkt sich positiv auf den Stromverbrauch aus, dennoch liegt der Stromverbrauch für die hohen prognostizierten Stückzahlen an Wärmepumpen im mittleren zweistelligen TWh/a Bereich. Diese über einen Zeitraum gemittelten Werte geben jedoch nicht die Bedarfsspitzen im Stromverbrauch der Luftwärmepumpen im Winter wieder. Um einen Abfederungseffekt von Strombedarfsspitzen durch einen höheren Anteil verbauter Erdwärmepumpen berechnen zu können, müssten die Verbrauchswerte von Luft- und Wärmepumpen in Monatsscheiben

aufgeschlüsselt werden. Dazu müssten Jahresganglinien von Luft- und Erdwärmepumpen im Realbetrieb über mindestens zwei Kalenderjahre hinweg verglichen werden können.

Aufgrund der höheren Effizienz der erdgekoppelten Wärmepumpen wurde für ein solides Ausbauszenario die Dena TM95-Studie zu Grunde gelegt, und zwar mit einem Verhältnis Erd- zu Luftwärmepumpen von 1 zu 1. Die entsprechenden Jahresenergiemengen in den jeweiligen Jahresscheiben 2030, 2040 und 2045 sind in den Tabelle 3 bis 5 rot markiert.

Entwicklung Wärmepumpen Markt							
2021							
	Stück	TWh/a	% Stück	% TWh/a			
WP gesamt	1.205.000	26,5	100,0	100,0			
WP Luft	770.000	16,5	63,9	62,3	Stückzahl und Arbeit aus BWP Roadmap, Abb. 2		
WP Erd	435.000	<b>10,0</b>	36,1	37,7	Stückzahl und verrichtete Arbeit kongruent		
(ab 2022 bis) 2030							
	Stück	TWh/a	% Stück	% TWh/a	Strombedarf TWh/a		
<b>WP gesamt</b>	<b>3.900.000</b>	<b>85,9</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>24,7</b>	DENA TM95	Erd WP zu
WP Luft	2.492.100	53,5	63,9	62,3	17,8	Wachstum/a	
WP Erd	1.407.900	32,4	36,1	37,7	6,9	336.875	
<b>WP gesamt</b>	<b>6.000.000</b>	<b>132,5</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>38,1</b>	BWP Roadmap, Wachstum/a	Luft WP 1/2
WP Luft	3.834.000	82,5	63,9	62,3	27,5		
WP Erd	2.166.000	50,0	36,1	37,7	10,6	599.375	
<b>WP gesamt</b>	<b>3.900.000</b>	<b>85,9</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>23,1</b>	DENA TM95	Erd WP zu
WP Luft	1.950.000	40,4	50,0	47,0	13,5	Wachstum/a	
WP Erd	1.950.000	<b>45,5</b>	50,0	53,0	9,7	336.875	
<b>WP gesamt</b>	<b>6.000.000</b>	<b>132,5</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>35,7</b>	BWP Roadmap, Wachstum/a	Luft WP 1/1
WP Luft	3.000.000	62,3	50,0	47,0	20,8		
WP Erd	3.000.000	70,2	50,0	53,0	14,9	599.375	

**Tabelle 3:** Verschiedene Ausbaupfade für verbaute Wärmepumpen in Stückzahl und entsprechender Arbeitszahl in 2030. Unter Annahme einer Jahresarbeitszahl von 3 für Luftwärmepumpen und 4,7 für erdgekoppelte Wärmepumpen (JAZ nach Angaben von Bosch) wird der Strombedarf für die jeweilige Stückzahl an Luft- und Erdwärmepumpen berechnet. Berücksichtigung unterschiedlicher Ausbaupfade: Dena TM95 <sup>[6]</sup> mit 336.875 zusätzlichen Wärmepumpen pro Jahr von 2022 bis 2030; Durchschnitt nach BWP Roadmap 2021 <sup>[5]</sup> mit 599.375 zusätzlichen Wärmepumpen von 2022 bis 2030. Berechnung einmal unter der Annahme von Erd- zu Luftwärmepumpen von 1 zu 2 (hellbraune Zeilen) und von 1 zu 1 (hellgrüne Zeilen).

Entwicklung Wärmepumpen Markt							
(ab 2030 bis) 2040							
	Stück	TWh/a	% Stück	% TWh/a	Strombedarf TWh/a		
<b>WP gesamt</b>	<b>6.300.000</b>	<b>111,6</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>32,1</b>	DENA TM95	Erd WP zu
WP Luft	4.025.700	69,5	63,9	62,3	23,2	Wachstum/a	
WP Erd	2.274.300	42,1	36,1	37,7	9,0	240.000	
<b>WP gesamt</b>	<b>11.000.000</b>	<b>198,8</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>57,2</b>	BWP Roadmap, Wachstum/a	Luft WP 1/2
WP Luft	7.029.000	123,8	63,9	62,3	41,3		
WP Erd	3.971.000	74,9	36,1	37,7	15,9	500.000	
<b>WP gesamt</b>	<b>6.300.000</b>	<b>111,6</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>30,1</b>	DENA TM95	Erd WP zu
WP Luft	3.150.000	52,5	50,0	47,0	17,5	Wachstum/a	
WP Erd	3.150.000	<b>59,2</b>	50,0	53,0	12,6	240.000	
<b>WP gesamt</b>	<b>11.000.000</b>	<b>198,8</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>53,5</b>	BWP Roadmap, Wachstum	Luft WP 1/1
WP Luft	5.500.000	93,4	50,0	47,0	31,1		
WP Erd	5.500.000	105,3	50,0	53,0	22,4	500.000	

**Tabelle 4:** Ausbaupfade nach Dena TM95 mit einem jährlichen Zuwachs von 240.000 Wärmepumpen pro Jahr und bei dem Durchschnittswert aus BWP Roadmap 2021 mit einem jährlichen Zuwachs von 500.000 Wärmepumpen von 2030 bis 2040.

Entwicklung Wärmepumpen Markt							
(ab 2040 bis) 2045							
	Stück	TWh/a	% Stück	% TWh/a	Strombedarf TWh/a		
<b>WP gesamt</b>	<b>6.850.000</b>	<b>128,4</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>37,0</b>	DENA TM95	Erd WP zu Luft WP 1/2
WP Luft	4.377.150	80,0	63,9	62,3	26,7	Wachstum/a	
WP Erd	2.472.850	48,4	36,1	37,7	10,3	110.000	
<b>WP gesamt</b>	<b>13.500.000</b>	<b>238,5</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>68,7</b>	BWP Roadmap,	Luft WP 1/2
WP Luft	8.626.500	148,6	63,9	62,3	49,5	Wachstum/a	
WP Erd	4.873.500	89,9	36,1	37,7	19,1	500.000	
<b>WP gesamt</b>	<b>6.850.000</b>	<b>128,4</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>34,6</b>	DENA TM95	Erd WP zu Luft WP 1/1
WP Luft	3.425.000	60,3	50,0	47,0	20,1	Wachstum/a	
WP Erd	3.425.000	<b>68,0</b>	50,0	53,0	14,5	110.000	
<b>WP gesamt</b>	<b>13.500.000</b>	<b>238,5</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>64,3</b>	BWP Roadmap,	Luft WP 1/1
WP Luft	6.750.000	112,1	50,0	47,0	37,4	Wachstum/a	
WP Erd	6.750.000	126,4	50,0	53,0	26,9	500.000	

**Tabelle 5:** Ausbaupfade nach Dena TM95 mit einem jährlichen Zuwachs von 110.000 Wärmepumpen pro Jahr und bei dem Durchschnittswert aus BWP Roadmap 2021 mit einem jährlichen Zuwachs von 500.000 Wärmepumpen pro Jahr von 2040 bis 2045.

### 3.3. Ausbaupfade für die tiefe Geothermie

Für die tiefe Geothermie kann auf Basis geeigneter Studien und Zusammenstellungen ein solider Ausbaupfad formuliert werden (Tab. 6): Von 2022 ausgehend kann bis 2030 mit einem jährlichen Wachstum von rund 1,1 TWh/a gerechnet werden, so dass eine Jahresenergiemenge von 10 TWh/a im Jahr 2030 erreicht werden kann <sup>[7]</sup>. Auf Basis der Sandrock-Studie kann die tiefe Geothermie eine Jahresenergiemenge von 118 TWh/a erreichen, was aufgrund der zeitaufwendigen Modernisierung der Fernwärmenetze und der Vorlaufzeiten für Geothermieprojekte nicht sofort aber bis zum Jahr 2045 als erreichbar erscheint. Unter der Voraussetzung, dass ab 2023 eine verstärkte, bundesweite Explorationstätigkeit zur Entwicklung neuer tiefegeothermischer Standorte gerade im kommunalen Bereich stattfinden wird, kann unter Berücksichtigung typischer Vorlaufphasen für Geothermieprojekte von 2030 bis 2040 ein jährlicher Zuwachs von 4,6 TWh erreicht werden, so dass im Jahr 2040 eine Jahresenergiemenge von 56 TWh durch tiefe Geothermie bereitgestellt werden kann.

Zu berücksichtigen sind wie bereits erwähnt gerade bei Tiefengeothermieprojekten die längeren Vorlaufzeiten von der Erkundung des geologischen Untergrunds bis hin zur ersten gelieferten Kilowattstunde Wärme an die Verbrauchsstellen. Daher ist mit moderatem Wachstum der Jahresenergiemenge von rund 1,1 TWh pro Jahr bis 2030 und 4,6 TWh pro Jahr bis 2040 zu rechnen, bis dann eine Vielzahl in Bau befindlicher tiefegeothermischer Entwicklungsstandorte von 2040 bis 2045 ans Wärmenetz angeschlossen werden können. So ist das jährliche Wachstum von 12,4 TWh/a zu erklären, mit dem im Jahr 2045 eine Jahresenergiemenge von 118 TWh durch tiefe Geothermie bereits gestellt werden kann. Eine vergleichbare Entwicklung hat sich in den ersten 20 Jahren dieses Jahrtausends auf regionaler Skala in der Metropolregion München bereits vollzogen.

Voraussetzung ist für den signifikanten Zuwachs zwischen 2040 bis 2045 in der tiefen Geothermie schon jetzt die Grundsteinlegung zum Ausbau der Geothermie durch eine geeignete Förderkulisse, die die hohen Anfangsinvestitionen bei vergleichsweise niedrigen Betriebskosten abfedert.

Der in Tabelle 6 dargestellte Ausbaupfad der oberflächennahen Geothermie ist in Kapitel 3.2 begründet.

Ausbaupfad Geothermie (Quellen: BEE, Sandrock Studie, Bundesverband Wärmepumpe Branchenstudie 2021 und Dena TM95)							
2022		2030		2040		2045	
ONG	TG	ONG	TG	ONG	TG	ONG	TG
TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
10	1,4	46	10	59	56	68	118
		Wachstum in TWh/a ggü. 2022		Wachstum in TWh/a ggü. 2030		Wachstum in TWh/a ggü. 2040	
		4,50	1,08	1,30	4,60	1,80	12,40

**Tabelle 6:** Formulierung von Ausbaustufen der oberflächennahen (ONG) und tiefen Geothermie (TG) für 2030, 2040 und 2045 auf Basis der Sandrock-Studie <sup>[3]</sup> und der Dena TM95-Studie. Die Angaben für 2022 sind den Angaben für 2020 gleichgesetzt (ONG Angabe aus BWP Roadmap 21, TG Angabe aus GeotIS).

Quellen für Kapitel 3:

[1] Weber, J., Moeck, I.: Wärmewende mit Geothermie. Broschüre, November, Juli 2019, 4. Auflage, ISBN: 978-3-9817896-4-5, 12 Seiten, Hannover, abrufbar unter [www.geotis.de](http://www.geotis.de)

[2] Agemar, T., Suchi, E., Moeck, I.: Die Rolle der tiefen Geothermie bei der Wärmewende - Wie Deutschland 60 % erneuerbare Wärme bis 2050 schaffen könnte. Positionspapier, 27.04.2018, Archiv-Nr. 0135181, LIAG, Hannover, 14 Seiten.

[3] Sandrock, M., Maaß, C., Löschan, G., Baisch, C., Mangold, D., Riegger, M., et al. (2020): Kommunalen Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefergeothermischer Ressourcen. Abschlußbericht. CLIMATE CHANGE 31, 2020, UBA.

[4] Bracke, R., Huenges, E, et al. (2022): Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland, 2022

[5] Roadmap Wärmepumpe – Der Weg zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors. Bundesverband Wärmepumpe, Berlin, 29.04.2021, 21 Seiten.

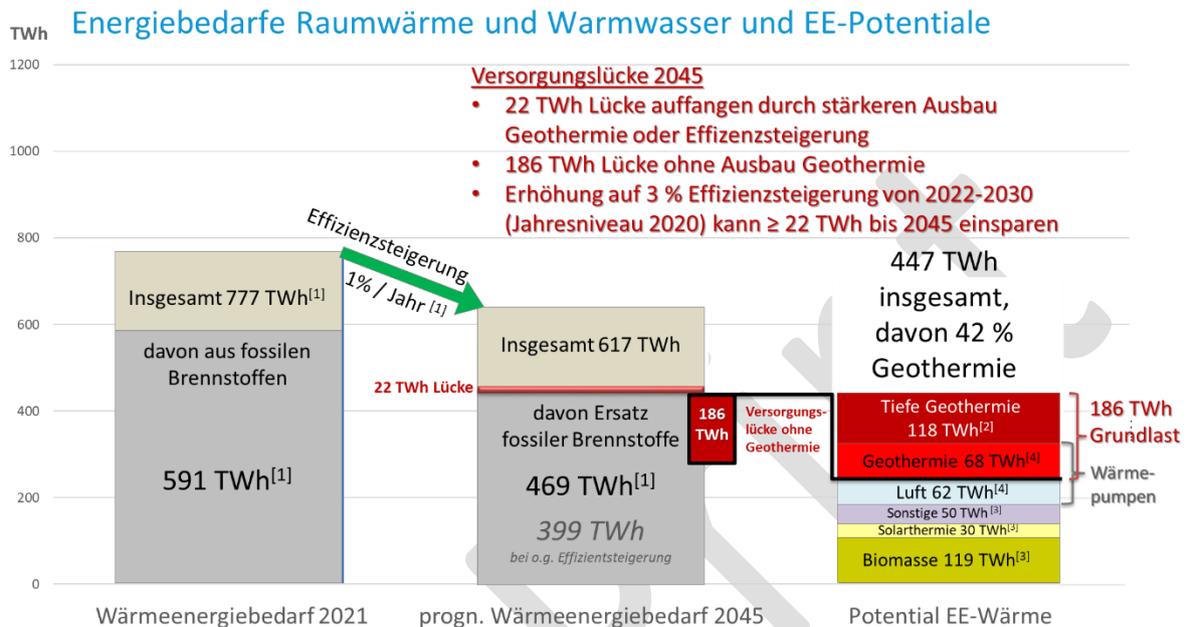
[6] Dena Gebäudestudie - Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor, Stand 10/2017, TM 95, Abb. 5, S. 42, insgesamt 95 Seiten.

[7] Eröffnungsbilanz Klimaschutz, S. 8 von insgesamt 37 Seiten, BMWK, 2021.

## 4. Synthese

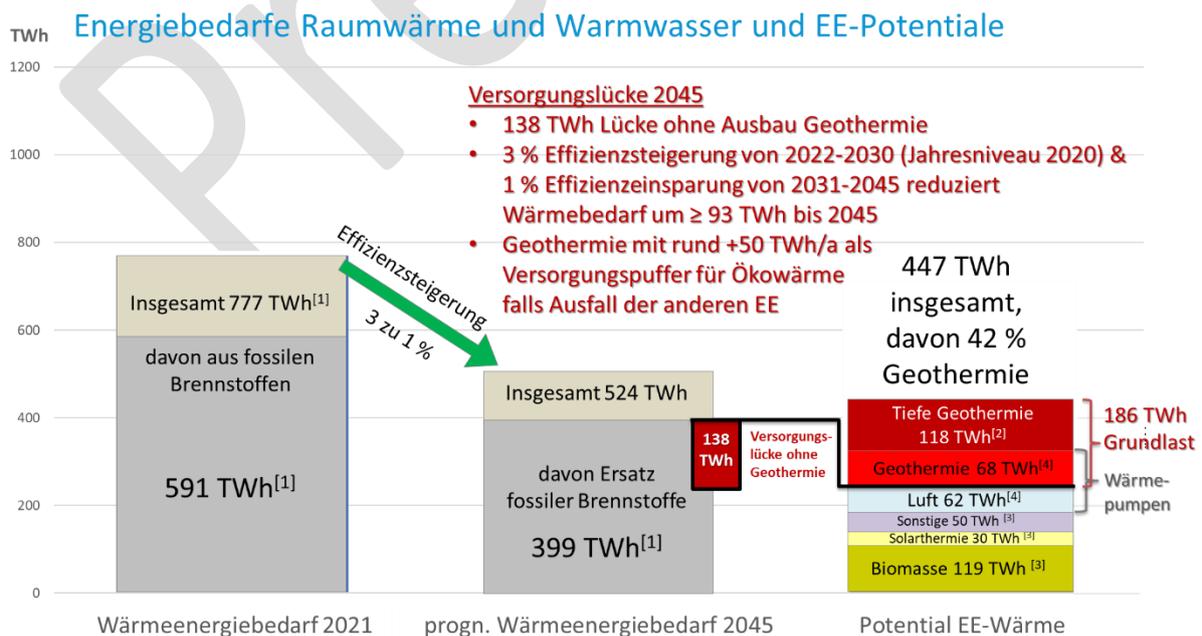
### 4.1. Entwicklung der Ökowärme für den Bereich Raumwärme/Warmwasser bis 2045

#### Szenario Dena TM95 und gleichbleibender Effizienzsteigerung der letzten 12 Jahre



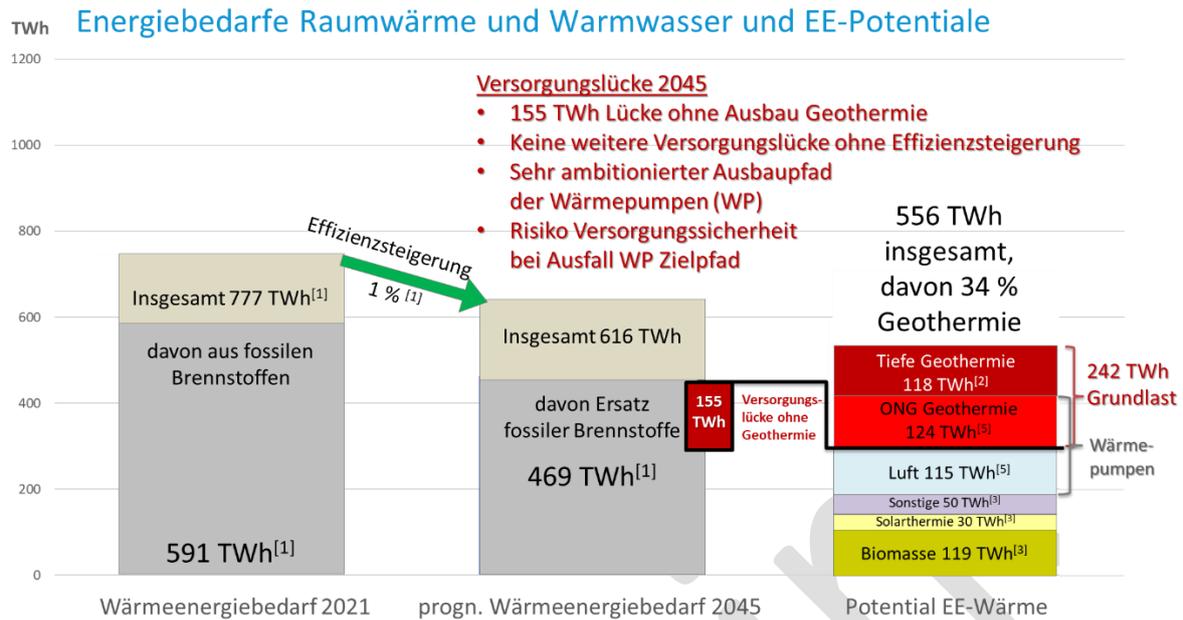
**Abbildung 10:** Szenario zum Ausbau der Geothermie unter gleichzeitiger Bedarfsreduktion um 1 % pro Jahr, Ausbau der oberflächennahen Geothermie nach Dena TM95-Studie.

#### Szenario Dena TM95 und 3 zu 1 Modell zur Effizienzsteigerung der letzten 12 Jahre



**Abbildung 11:** Szenario zum Ausbau der Geothermie unter gleichzeitiger Bedarfsreduktion unter dem 3 % zu 1 % Modell, Ausbau der oberflächennahen Geothermie nach Dena TM95-Studie.

**Szenario Roadmap BWP 2021 und gleichbleibender Effizienzsteigerung der letzten 10 Jahre**



**Abbildung 12:** Szenario für den Ausbau der Geothermie unter gleichzeitiger Bedarfsreduktion um 1 % pro Jahr, Ausbau der oberflächennahen Geothermie nach Durchschnittswerten nach BWP Roadmap 2021, d.h. einem Wachstum der verbauten Wärmepumpen von fast 600.000 Stück pro Jahr von 2022 bis 2030 und 500.000 bis 2045.

**4.2. Vermeidung von CO<sub>2</sub> Emissionen durch Bedarfsreduktion und Einsatz von Geothermie statt fossiler Brennstoffe im Sektor Raumwärme/Warmwasser**

Der Anteil fossiler Brennstoffe am Energieverbrauch (insgesamt 777 TWh in 2020 wie in Kapitel 1.2 dargestellt) im Bereich Raumwärme/Warmwasser liegt bei 591 TWh, davon 499 TWh für Raumwärme und 92 TWh für Warmwasser und verursacht je nach Anteil von Stein- oder Braunkohle CO<sub>2</sub>-Emissionen von etwa 87 bis 89 Mio. Tonnen (t) (Tab. 7).

Nach dem 3 % zu 1 % Einsparmodell können - bezogen auf den Anteil fossiler Brennstoffe am Energieverbrauch im Bereich Raumwärme/Warmwasser - die CO<sub>2</sub> Emissionen von derzeit etwa 89 Mio. t um insgesamt 19 Mio. t bis 2030 und 29 Mio. t bis 2045 reduziert werden (Abb. 13).

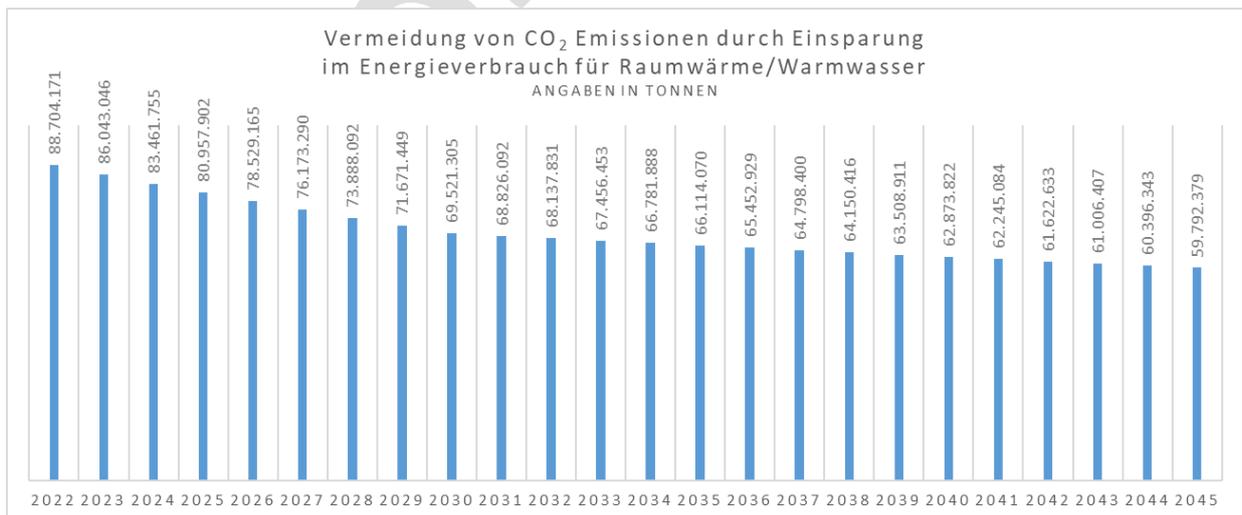
Je nach Berechnungsmodell Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen darstellen, also die Größenordnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Einsatz der Geothermie vermieden werden kann. Würden die in Tabelle 6 formulierten Jahresenergiemengen für oberflächennahe und tiefe Geothermie weiterhin durch Heizöl erzeugt, so würden in 2030 etwa 15 Mio. t und in 2045 etwa 51 Mio. CO<sub>2</sub>-Äquivalente freigesetzt (Tab. 8). Hierbei ist jedoch zu beachten, das Heizöl nur 23 % und nicht 100% der fossilen Energieträger im Bereich Raumwärme/Warmwasser ausmachen. Das Ergebnis ist also als nicht realitätsabbildend zu betrachten.

Nach einer realitätsnahen, die Anteile fossiler Brennstoffträger berücksichtigende Berechnung, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 87 bis 89 Mio. t zugrunde gelegt, die zurzeit durch die Verbrennung fossiler Energieträger mit einer Jahresenergiemenge von 591 TWh im Bereich Raumwärme/Warmwasser verursacht werden (Tab. 7). Das Ausbauziel von 186 TWh Jahresenergiemenge, die durch Geothermie in 2045 bereitgestellt werden kann, entspricht 23 % der Jahresenergiemenge aus fossilen Brennstoffen in 2020. Demnach entsprechen 186 TWh etwa

21 Mio. t CO<sub>2</sub>, deren Ausstoß durch den Einsatz der Geothermie bei voller Ausbaustufe pro Jahr vermieden werden kann.

		davon Öl	Gas	Kohle	
	TWh	TWh	TWh	TWh	
Raumwärme	499	159	328	12	Schwankung
		Öl in t	Gas in m <sup>3</sup>	Braunkohle in T	Steinkohle in T
		13.674.000	10.933.333.333	2.142.857	1.436.027
CO <sub>2</sub> Berechnung Faktor		x 3,16 t CO <sub>2</sub>	x 2,5 t CO <sub>2</sub>	x 2,65 t CO <sub>2</sub>	x 2,83 t CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> Emissionen		43.209.840	27.333.333	5.678.571	4.063.956
<b>CO<sub>2</sub> Emissionen in Tonnen / Jahr durch fossile Raumwärme</b>				<b>76.221.744,8</b>	74.607.129,7
Warmwasser	TWh	TWh	TWh	TWh	
	92	26	65	0	
		Öl in T	Gas in m <sup>3</sup>	Kohle in T	
		2.236.000	2.166.666.667	0	
CO <sub>2</sub> Berechnung		x 3,16 T CO <sub>2</sub>	x 2,5 T CO <sub>2</sub>	x 2,65 T CO <sub>2</sub>	
CO <sub>2</sub> Emissionen		7.065.760	5.416.667	0	
<b>CO<sub>2</sub> Emissionen in Tonnen / Jahr durch fossiles Warmwasser</b>				<b>12.482.426,7</b>	
<b>CO<sub>2</sub> Emissionen in Tonnen / Jahr durch fossile RW+WW</b>				<b>88.704.171,4</b>	<b>87.089.556,4</b>

**Tabelle 7:** Berechnung <sup>[6][7][8][9]</sup> der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den fossilen Brennstoffanteilen im Bereich Raumwärme/Warmwasser in 2020.



**Abbildung 13** <sup>[6][9]</sup>: Reduktion der Klimaschädigung durch Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Verfolgen der Einsparziele im Energiebedarf für Raumwärme/Warmwasser nach dem 3% zu 1% Modell (siehe Tabelle 8)

Geothermie	ONG in TWh/a	TG in TWh/a	in Heizöl in Tonne/a	CO <sub>2</sub> Äquivalente in Tonne/a
2030	46		3.956.000,0	12.500.960,0
2030		10	860.000,0	2.717.600,0
2030	ONG+TG	56	4.816.000,0	15.218.560,0
2045	68		5.848.000,0	18.479.680,0
2045		118	10.148.000,0	32.067.680,0
2045	ONG+TG	186	15.996.000,0	50.547.360,0

**Tabelle 8** <sup>[8]</sup>: Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Einsatz von Geothermie statt Heizöl entsprechend der Ausbaupfade der Geothermie. ONG = Oberflächennahe Geothermie, TG = Tiefe Geothermie einschließlich Mitteltiefe Geothermie

Durch die vollständige Transformation des Bereichs Raumwärme/Warmwasser hin zur Nutzung von Ökowärme wie Geothermie, Biomasse, Solarthermie und Luftwärmepumpen (Abb. 10-12) werden 87-89 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr vermieden.

Zurzeit schädigt der Gebäudesektor das Klima durch den Ausstoß von 119 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent (bezogen auf das Jahr 2020) <sup>[10]</sup>. Die Emissionshöchstmenge laut Klimaschutzplan sollte für 2020 bei 118 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent liegen. Als einziger aller Verbrauchssektoren hat dieser Sektor die Klimaschutzziele nicht erreicht <sup>[10]</sup>. Für 2030 beträgt die Zielvorgabe nach Klimaschutzplan 67 Mio. t CO<sub>2</sub> Äquivalent. Allein durch Einsparungen im Energiebedarf im Bereich Raumwärme/Warmwasser lässt sich dieses Klimaschutzziel nicht erreichen, da im Jahr 2030 etwa 70 Mio. t CO<sub>2</sub> trotz Energieeinsparung emittiert werden, vorausgesetzt das 3 % zu 1 % Einsparmodell wird zugrunde gelegt. Zusätzliche Maßnahmen, die zum Ersatz fossiler Brennstoffe für den Heizbetrieb im Gebäudesektor beitragen, sind demnach notwendig.

Die in diesem Kapitel durchgeführten Berechnungen setzen Berechnungsgrundlagen für Energie und Mengen fossiler Energieträger voraus, die in Tabelle 9 präsentiert ist.

Energie		in Liter	in m <sup>3</sup>	in kg	in Tonnen
TWh	PJ	<b>leichtes Heizöl</b>			
1,0	3,58	100.000.000	100.000	86.000.000	86.000
		<b>Flüssiggas</b>			
1,0	3,58	136.986.301	33.333.333	78.308.536	78.309
1,0	3,58	<b>Braunkohle</b>		178.571.429	178.571
1,0	3,58	<b>Steinkohle</b>		119.668.916	119.669
0,00000814		1 Tonne SKE (Steinkohleeinheit)			
8,14		1.000.000 Tonne SKE			
1,0		122.850 Tonne SKE			

**Tabelle 9:** Gegenüberstellung von Energie zu Mengen an fossilen Energieträgern.

### 4.3. Bedeutung der Geothermie für die Versorgungssicherheit

In Abhängigkeit von der Größenordnung in der Bedarfsreduktion im Bereich Raumwärme / Warmwasser und den Ausbaustufen bei den Luftwärmepumpen, werden Versorgungslücken entstehen, die von der Geothermie klimaneutral und ohne Einsatz fossiler Brennstoffe gedeckt werden können.

Unter Einbeziehung der Dena TM95-Studie als Berechnungsgrundlage zum Ausbau von Wärmepumpen und einer Reduktion des Energiebedarfs im Bereich Raumwärme/Warmwasser von 1 % pro Jahr würde ohne die Geothermie eine Versorgungslücke von 186 TWh/a in 2045 auftreten (Abb. 10). Zudem würde die gesamte Energiegewinnung aus der Ökowärme von 447 TWh/a nicht ausreichen, um den Anteil fossiler Brennstoffe im Umfang von 469 TWh/a abdecken zu können. Es würde eine zusätzliche Versorgungslücke von 22 TWh/a auftreten, die durch eine höhere Bedarfsreduktion abgefangen werden könnte. Entscheidend ist hierbei die Erkenntnis, dass die bisherige Bedarfsreduktion von 1 % pro Jahr bis 2045 zu gering ist, um den Bereich Raumwärme/Warmwasser in Zukunft vollständig durch Ökowärme abdecken zu können.

Eine andere Situation ergibt sich nach dem 3 % zu 1 % Einsparmodell. Wird die Bedarfsreduktion über die nächsten acht Jahre bis 2030 durch eine geeignete Förderkulisse auf dem Jahresniveau von 2020 bei 3 % gehalten und wird in den Folgejahren bis 2045 durch jährlich 1 % reduziert, so reduziert sich die Energie, die aus dem Ersatz fossiler Brennstoffe folgt, auf 399 TWh/a, bei einem Gesamtenergiebedarf von 524 TWh/a in 2045 im Bereich Raumwärme/Warmwasser (Abb. 11). Eine Versorgungslücke von 138 TWh/a würde ohne die Einbindung der Geothermie in die Ökowärme entstehen. Insgesamt liegt die durch Ökowärme bereitgestellte Energie von 447 TWh/a um rund 50 TWh/a höher als der prognostizierte Bedarf von 399 TWh/a, der durch den Ersatz fossiler Brennstoffe entsteht. Die Geothermie könnte mit 186 TWh/a also als Puffer dienen, falls andere Energieträger im Ökowärmebereich ausfallen oder die Bedarfsreduktion ihre Ziele nicht vollständig erreicht.

### 4.4. Handlungsempfehlungen zum soliden Ausbau der Ökowärme

**Für den Ausbaupfad der oberflächennahe Geothermie mittels erdgekoppelter Wärmepumpen wird festgestellt:**

- Dena TM95-Studie geht von einem jährlichen Zuwachs von 336.875 Wärmepumpen von 2022 bis 2030 aus; von 2031 bis 2040 wird ein jährlicher Zuwachs von 240.000 Wärmepumpen und von 2040 bis 2045 wird ein Zuwachs von jährlich 110.000 Wärmepumpen prognostiziert.
- Der Durchschnittswert verschiedener Szenarien aus der BWP Roadmap 2021 ergibt einen jährlichen Zuwachs von 599.375 Wärmepumpen bis 2030 und 500.000 neue Wärmepumpen pro Jahr bis 2045.
- Dena TM95-Studie gibt als umsetzbar erscheinende Zielvorgaben für den Zuwachs der jährlichen Stückzahlen verbauter Wärmepumpen vor. Bezüglich der Spannweite aus den unterschiedlichen Ausbauszenarien ist die Dena TM95-Studie eher im unteren Wertebereich angesiedelt.
- In Kombination mit der Fortführung der Einsparungen im Wärmebedarf durch Effizienzsteigerung ist die Dena TM95-Studie eine solide Basis für Ausbaupfad erdgekoppelter Wärmepumpen und ONG.
- Bis 2030 wird sich herausstellen, welches Zwischenziel erreicht wurde (Stückzahl der verbauten Wärmepumpen und das Verhältnis der luftgekoppelten zu erdgekoppelten Wärmepumpen).

**Für den Ausbaupfad der tiefen Geothermie wird festgestellt:**

- Die im Auftrag des UBA erstellte Sandrock-Studie enthält die beste zur Verfügung stehende Berechnung des geothermischen Potentials ist für die hydrothermalen Provinzen, da sie umfangreich und nachvollziehbar das Bereitstellungspotential der tiefen Geothermie einschließlich mitteltiefer Geothermie berechnet.
- Je nach Rücklauftemperatur zukünftiger Wärmenetze liegt das Ausbaupotential zwischen 58 TWh/a (bei Rücklauftemperatur 65 °C) und 118 TWh/a (bei Rücklauftemperatur 35 °C), diese Werte gelten bereits für erhöhte Wärmebedarfsdichten, die für kommunale Wärmenetze typisch sind ( $\geq 120 \text{ TJ/km}^2$ ).
- Zieht man besondere Naturschutzgebiete wie FFH-Gebiete, Vogelschutzgebiete u.a. ab, so reduzieren sich diese Werte auf 45 TWh/a bzw. 88 TWh/a.
- Ein Ausbauziel von 118 TWh/a setzt eine Effizienzsteigerung durch Gebäudesanierung und die damit verbundene Reduktion der Rücklauftemperatur von Wärmenetzen bis 2045 voraus.
- Die Rücklauftemperaturen der Fernwärmenetze sind durch Innovationen in der Gebäudetechnik zu senken. Die Vor- und Rücklauftemperaturen der gesamten Heizleistung wird derzeit durch die thermische Legionellensicherung energetisch stark beeinflusst. Die Heizleistung für die Legionellensicherung könnte beispielsweise elektrisch bereitgestellt werden, während die Heizleistung für die Gebäudeklimatisierung auf ein betriebstechnisch sinnvolles Maß reduziert wird.
- Zusätzliche Gebiete mit hydrothermale Potential der mitteltiefen Geothermie wurden in der Sandrock-Studie mangels ausreichender Datenlage nicht berücksichtigt. Hier sollte die aktuelle Anwendungsforschung zur mitteltiefen Geothermie greifen. Eine Verbesserung der Datenlage von Geoinformationen im Sinne einer geologischen Landesaufnahme ist zu prüfen und bestenfalls einzuleiten.
- Die Datenlage bei Geoinformationen und der Kenntnisstand zu den Ressourcen der mitteltiefen Geothermie müssen durch gezielte Maßnahmen verbessert werden, um das Ausbauziel von 118 TWh/a bis 2045 sicher zu erreichen.

**Folgende Voraussetzungen werden zum Ausbau des Ökowärmesektors mit Geothermie ermittelt:**

- Der Energiebedarf im Bereich Raumwärme/Warmwasser kann durch das tragfähig erscheinende Modell 3 % zu 1 % von derzeit 777 TWh/a auf 524 TWh/a in 2045 reduziert werden.
- Das 3 % zu 1 % Modell sieht vor, von 2022 bis 2030 eine jährliche Bedarfsreduktion von 3 % zu erreichen, dies bedeutet eine Fortsetzung der Bedarfsreduktion des Jahres 2020. Ab 2031 bis 2045 wird der Bedarf nach diesem Modell um jährlich 1 % gesenkt, was dem Durchschnittswert der Jahre 2008 bis 2020 entspricht.
- Die Bedarfsreduktion kann durch Effizienzsteigerung im Rahmen der Gebäudesanierung und der Modernisierung der Wärmenetze erreicht werden. Dafür ist eine geeignete Förderkulisse zu prüfen und zu schaffen.
- Der Energiesektor Ökowärme muss deutlich stärker als bislang in den Maßnahmenkatalogen für den Klimaschutz platziert werden.
- Ökostrom und Ökowärme müssen gleichwertig gedacht und behandelt werden, denn eine Energiewende ohne den Energiesektor Ökowärme ist nicht möglich. Klimaschutzziele können ohne den Ökowärmesektor nicht erreicht werden.
- Der Gebäudesektor verfehlt als einziger Verbrauchssektor sein Klimaschutzziel hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Emissionen weiterhin (119 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente in 2020 gegenüber der Zielgröße von 118 Mio. t für 2020). Es besteht daher vorrangiger Handlungsbedarf zum Ausbau der Ökowärme für diesen Verbrauchsbereich. Geothermie stellt mit den durch diese Studie formulierten Ausbauzielen eine geeignete Schlüssellösung dar, da sie grundlastfähig ist.
- Allein durch Reduktion des Energiebedarfs im Bereich Raumwärme/Warmwasser kann das Klimaschutzziel für den Gebäudesektor bis 2030 (Emissionen von 67 Mio. t CO<sub>2</sub> Äquivalent) nicht erreicht werden. Der Ersatz fossiler Brennstoffe für die Bereitstellung von Heizenergie

durch Ökowärme ist eine zwingende Voraussetzung zum Erreichen der Klimaschutzziele der Bundesrepublik Deutschland.

- Der Bereich Raumwärme/Warmwasser verursacht zwischen 87 und 89 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen und ist für den Großteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudesektor verantwortlich. Es besteht dringender Handlungsbedarf zur Schaffung einer geeigneten, langfristig angelegten Förderkulisse, um den Ausbau der Ökowärme im Bereich Raumwärme/Warmwasser zügig zu forcieren und aufrecht zu erhalten.
- Der Anteil fossiler Brennstoffe kann mittelfristig vollständig durch Ökowärme ersetzt werden, vorausgesetzt, die Bedarfsreduktion erfolgt in ausreichender Weise wie oben dargestellt.
- Die Geothermie umfasst oberflächennahe Geothermie mit Einsatz erdgekoppelter Wärmepumpen und tiefer Geothermie mit Einsatz hydrothermaler Dubletten. Sie kann zukünftig bis zu 42 % der Ökowärme für den Bereich Raumwärme/Warmwasser unter Einsatz etablierter Technologien abdecken.
- Erdgekoppelte Wärmepumpen sind durch ihre höheren Jahresarbeitszahlen gegenüber Luftwärmepumpen zu bevorzugen. Hier sollten effiziente Technologien gefördert werden, mit dem Ziel, den Anteil erdgekoppelter Wärmepumpen von derzeit knapp 30% auf gut 50% der insgesamt verbauten Wärmepumpen zu heben.
- Ohne den sofortigen Ausbau der Geothermie und durch das Fehlen der Geothermie im zukünftigen Ökowärmesektor würde eine Versorgungslücke im Jahr 2045 von mindestens 138 TWh/a im Bereich Raumwärme/Warmwasser entstehen.
- Die in dieser Studie hergeleiteten Ausbaustufen der Geothermie können als umsetz- und erreichbare Minimalziele betrachtet werden. Eine umfangreiche Plausibilitätsprüfung (Einbeziehung der Entwicklung im Fachkräftebereich, mögliche Liefer- und Materialengpässe u.a.) leistet diese Studie nicht.
- Nur unter der Voraussetzung der Harmonisierung von lokalem Naturschutz und globalem Umweltschutz ist ein Ausbau der tiefen Geothermie auf 118 TWh/a bis 2045 möglich. Andernfalls wären nur 88 TWh/a bis 2045 möglich.
- Naturschutzgebiete und der Ausbau erneuerbarer Energieanlagen (EE-Anlagen) sollten sich nicht ausschließen, sondern in Einklang gebracht werden. Hierzu ist ein Perspektivwechsel in Betracht zu ziehen: EE-Anlagen dienen dem Klimaschutz und damit dem globalen Umweltschutz, ohne den ein lokaler Naturschutz nicht möglich ist. Vogelschutzgebiete haben ohne den Ausbau von EE-Anlagen, die Maßnahmen zum Klimaschutz sind, keine Perspektive auf Fortbestand.
- Der gesteigerte Ausbau von EE-Anlagen sollte von einer Kommunikationskampagne begleitet werden, die Ursache und Wirkung erklärt: Das Artensterben wird in letzter Konsequenz durch den Klimawandel und nicht durch EE-Anlagen verursacht. Bedrohte Arten werden durch den massiven Ausbau von Ökostrom und Ökowärme geschützt, weil das Ausmaß klimaschädlicher Schadstoffemissionen verringert und die Lebensgrundlage aller Arten gesichert wird.
- Weitere flankierende Maßnahmen sind mit Fachbehörden, Branchenvertretungen und weiteren Ministerien abzustimmen und ggf. einzuleiten.

Quellen für Kapitel 4:

- [1] Zahlen und Fakten: Energiedaten, BMWK, Stand 21.01.2022
- [2] Sandrock, M., Maaß, C., Löschan, G., Baisch, C., Mangold, D., Riegger, M., et al. (2020): Kommunalen Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefergeothermischer Ressourcen. Abschlußbericht. CLIMATE CHANGE 31, 2020, UBA.
- [3] BEE Prognose 2021
- [4] Dena Gebäudestudie - Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor, Stand 10/2017, TM 95, Abb. 5, S. 42, insgesamt 95 Seiten.
- [5] Durchschnitt berechnet aus Abb. 2 der Roadmap Wärmepumpe – Der Weg zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors. Bundesverband Wärmepumpe, Berlin, 29.04.2021, 21 Seiten.
- [6] Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Seite 6, Tabelle 1, insgesamt 11 Seiten, Stand 30.11.2020, S. 6; [www.bafa.de](http://www.bafa.de)
- [7] DIN EN 16258:2011 „Energieverbrauch und THG-Emissionen im Zusammenhang mit Transportdienstleistungen“
- [8] Die noch nicht vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnen: <https://www.klimaneutral-handeln.de/php/kompens-berechnen.php> , Zugriff 14.04.2022
- [9] Spezifische Kohlendioxid Emissionen verschiedener Brennstoffe: <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index.php> , Zugriff 20.04.2022
- [10] Deutsches Treibhausgasinventar / Klimaschutzgesetz;  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands#undefined> ,  
Zugriff 21.04.2022