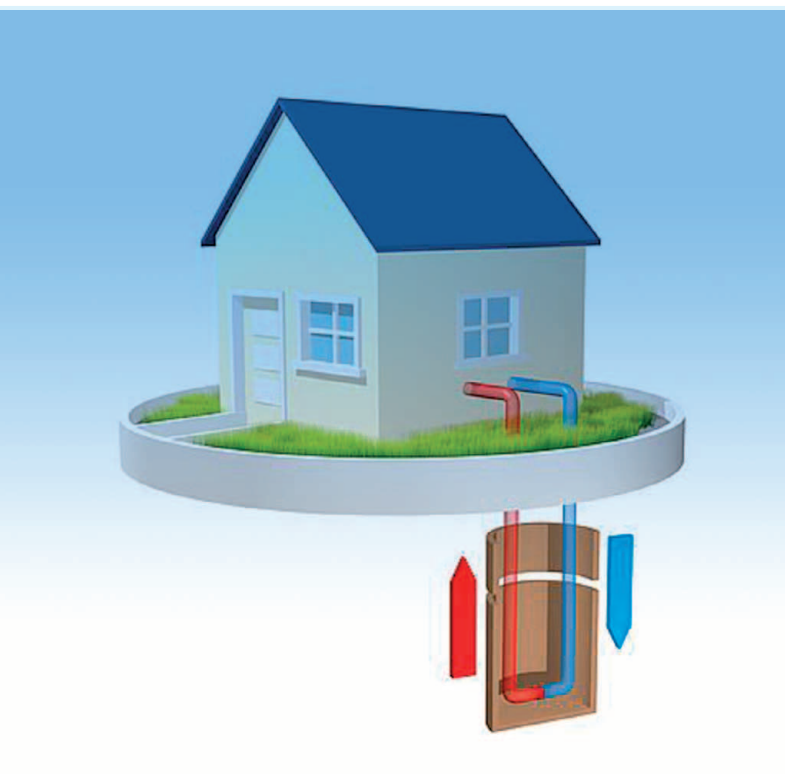
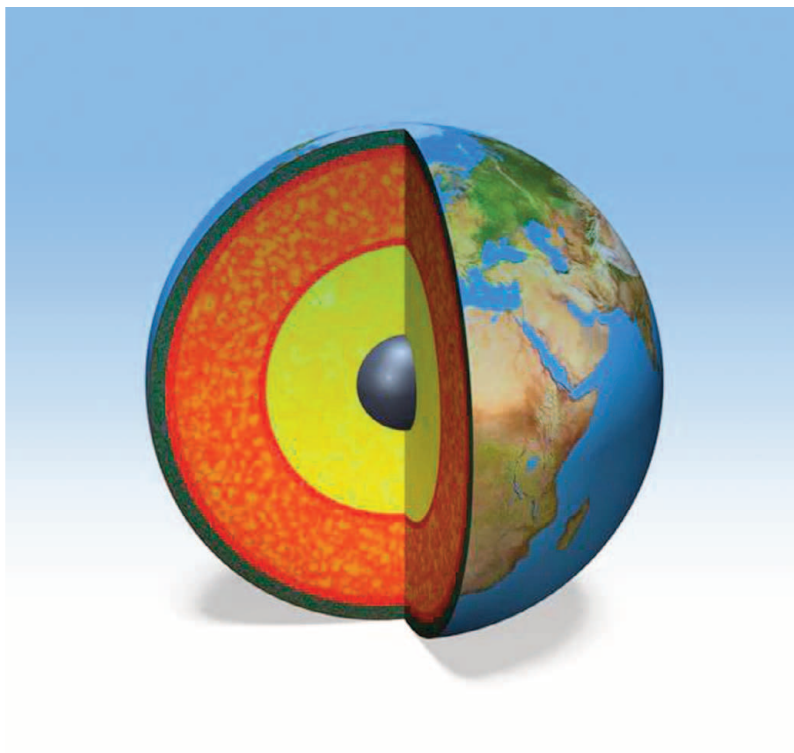


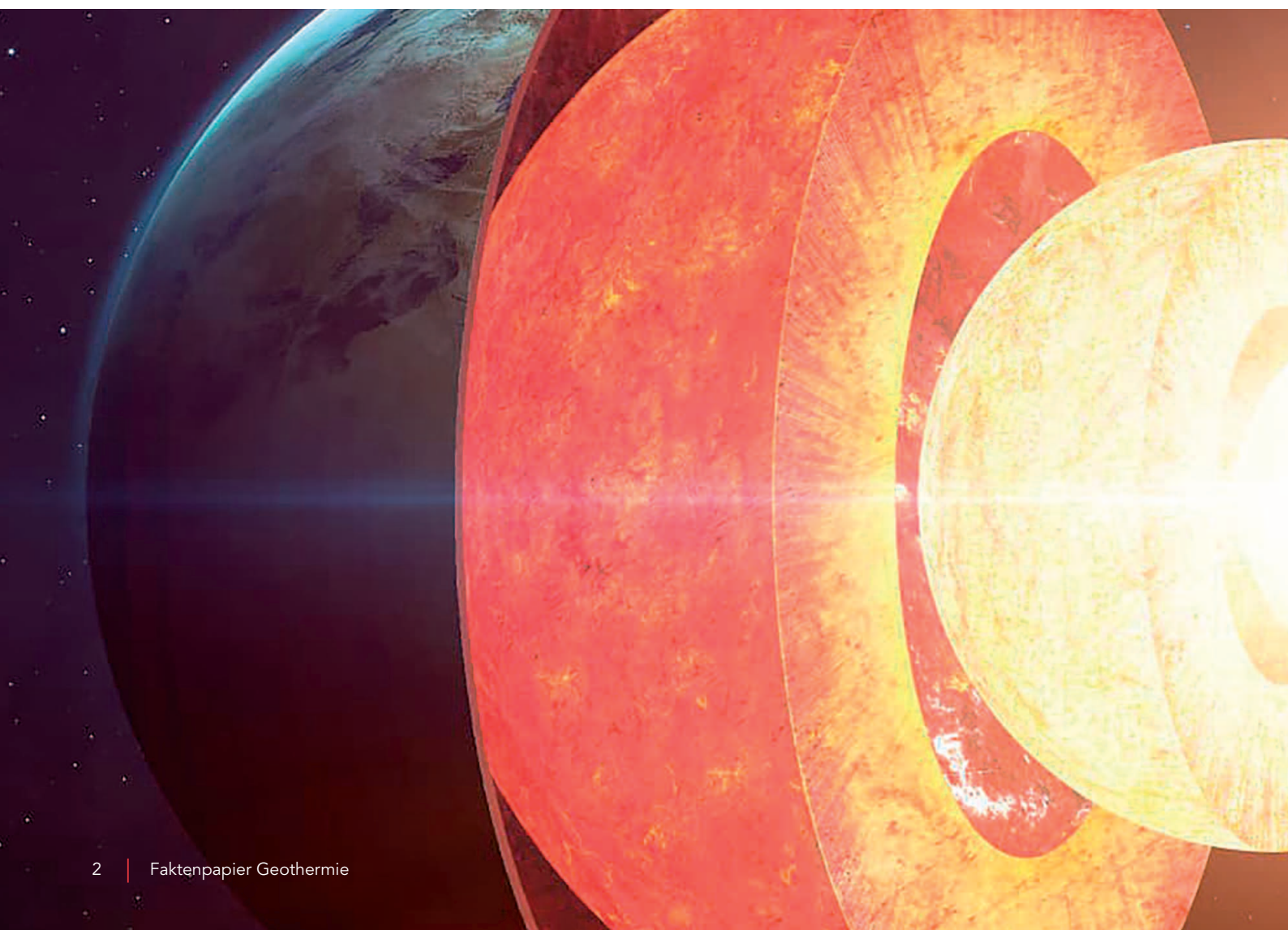
Faktenpapier Geothermie

Mit Erdwärme die Wärmewende gestalten

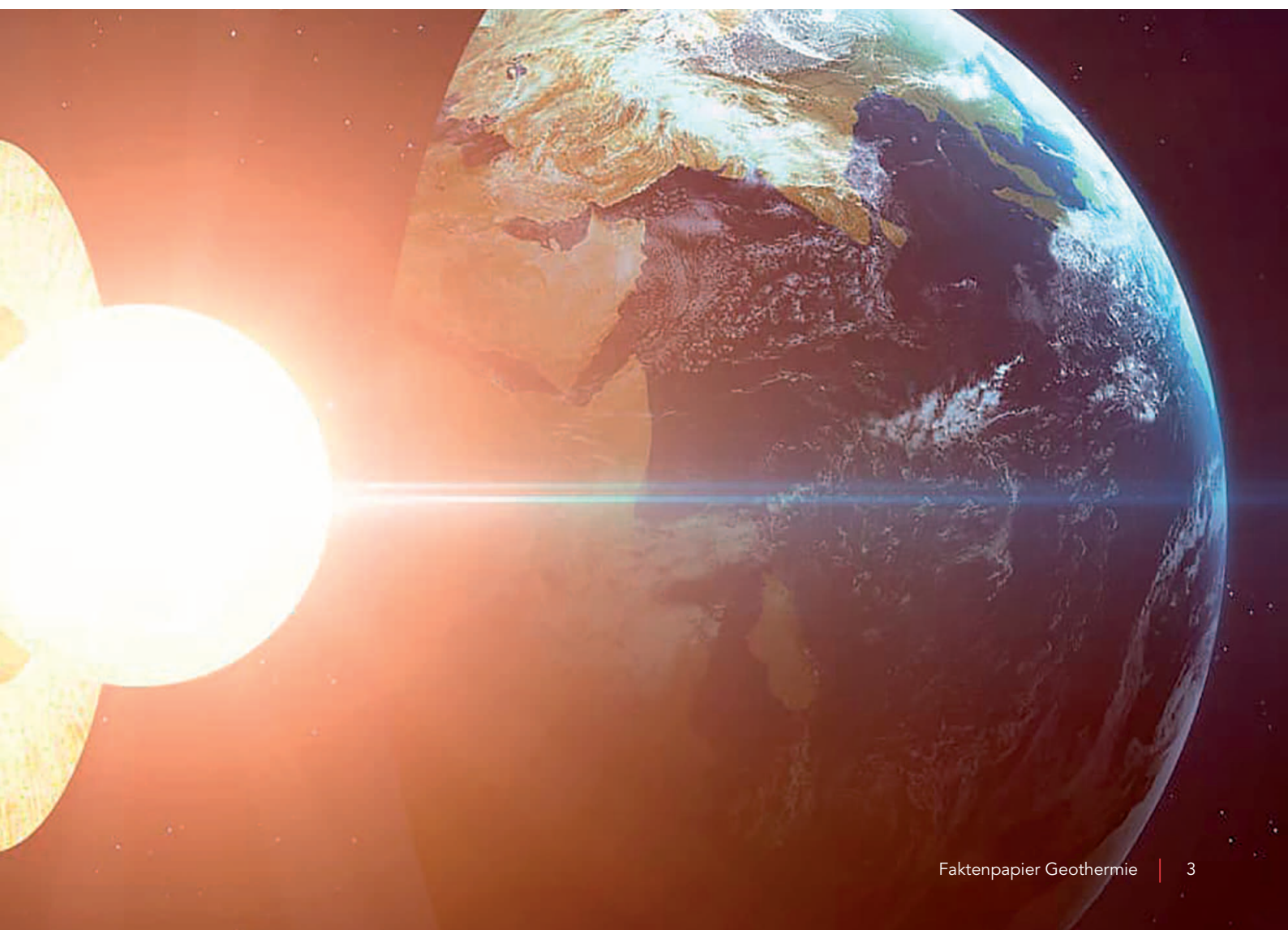


INHALTSVERZEICHNIS

1	VORWORT	4
<hr/>		
2	CHANCEN DER GEOTHERMIE IN HESSEN	5
<hr/>		
3	ENTWICKLUNG DER GEOTHERMIE IN HESSEN	8
3.1	Die Entwicklung bis 2020	8
3.2	Einschränkung Grundwasserschutz	9
3.3	Einschränkung Bergrecht	10
<hr/>		
4	MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER PLANUNGSGRUNDLAGEN	11
4.1	Daten zur Wärmeleitfähigkeit und zum Wärmetransport im Grundwasser	11
4.2	Bereitstellung ausgewählter Temperaturdaten	11
4.3	Steckbriefe Oberflächennahe Geothermie	12
<hr/>		
5	WEITERE INFORMATIONEN AUS DEM „GEOTHERMIE VIEWER HESSEN“	13
5.1	Wärmeleitfähigkeit im oberflächennahen Untergrund	13
5.2	Tiefengeothermie	13
5.3	Hessen ganz tief – Forschung zur Tiefengeothermie in Hessen	14
<hr/>		



6	DIE WÄRMEPUMPE ALS SCHLÜSSELTECHNOLOGIE FÜR DEN KLIMASCHUTZ	16
6.1	Beispiel: Erzhausen – Plus-Energie-Standard im Neubauquartier	19
6.2	Beispiel: Bad Nauheim – Kalte Nahwärme im Neubauquartier	21
6.3	Beispiel: Frankfurt – Quartier am Henninger Turm	22
<hr/>		
7	NUTZUNG VON GEOTHERMIE IM BESTAND	24
7.1	Erfahrungen am eigenen Haus – Familie mitnehmen	27
7.2	Beispiel: Wärmepumpe im Altbau – Auf die Details kommt es an	29
<hr/>		
8	HESSEN BAUT AUF GEOTHERMIE	31
<hr/>		
9	WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN	34
<hr/>		
10	BILDNACHWEISE	35
<hr/>		



1. VORWORT



Sehr geehrte Bürger*innen,

Hessen ist auf dem Weg zu einem klimafreundlichen und nachhaltigen Energiesystem. Unsere Stromerzeugung stammt bereits zu mehr als der Hälfte aus erneuerbaren Quellen. Doch es ist noch ein weiter Weg bis zur Unabhängigkeit von Kohle, Öl und Gas. Dies gilt besonders für den Wärmesektor.

Geothermie kann hier einen beträchtlichen Beitrag leisten. Diese Technologie ist gut erforscht, bewährt sich seit Jahrzehnten am Markt und wird immer weiter verfeinert. Dennoch wird ihr Potenzial noch nicht ausgeschöpft. Mit diesem Faktenpapier, das die Ergebnisse der Fachforen des Faktenchecks Geothermie vom Herbst 2020 zusammenfasst, möchten wir dazu beitragen, dass sich das ändert.

Die LandesEnergieAgentur Hessen bietet Ihnen auf den folgenden Seiten einen Überblick über die neuesten

Entwicklungen auf diesem Gebiet, dessen Planungsgrundlagen und Datenlagen sich enorm verbessert haben. Erfahren Sie in Praxisbeispielen, wie wir die in der Erdkruste gespeicherte Wärme in unsere Wohn- und Arbeitsräume bringen können. Lernen Sie den Geothermie Viewer Hessen kennen, unseren Online-Führer zu den thermischen Schätzen in Hessens Untergrund.

Diese Schätze gilt es zu heben, um unser Bundesland bis zur Mitte dieses Jahrhunderts vollständig mit erneuerbaren Energien versorgen zu können. Dafür brauchen wir die Unterstützung aller Bürger*innen, denn dieses Ziel können wir nur gemeinsam erreichen. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine anregende Lektüre.

Jens Deutschendorf,

Staatssekretär,

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

2. CHANCEN DER GEOTHERMIE IN HESSEN

Die Möglichkeiten zur Nutzung der Erdoberfläche zur Energiegewinnung sind vielfältig. Sie reichen von der oberflächennahen Nutzung bis hin zur Erschließung von Wärmevorkommen in einigen tausend Metern Tiefe. Grundsätzlich wird die Geothermie-Nutzung unterteilt in:

1. Oberflächennahe Geothermie (bis zu 400 Meter Tiefe)
2. Tiefe Geothermie (ab 400 Meter Tiefe)
3. Sondernutzungsformen (bspw. Saisonale Wärmespeicher)

Die folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Möglichkeiten auf einen Blick:



Dr. André Deinhardt

Geschäftsführer

Bundesverband
Geothermie e.V.

www.geothermie.de

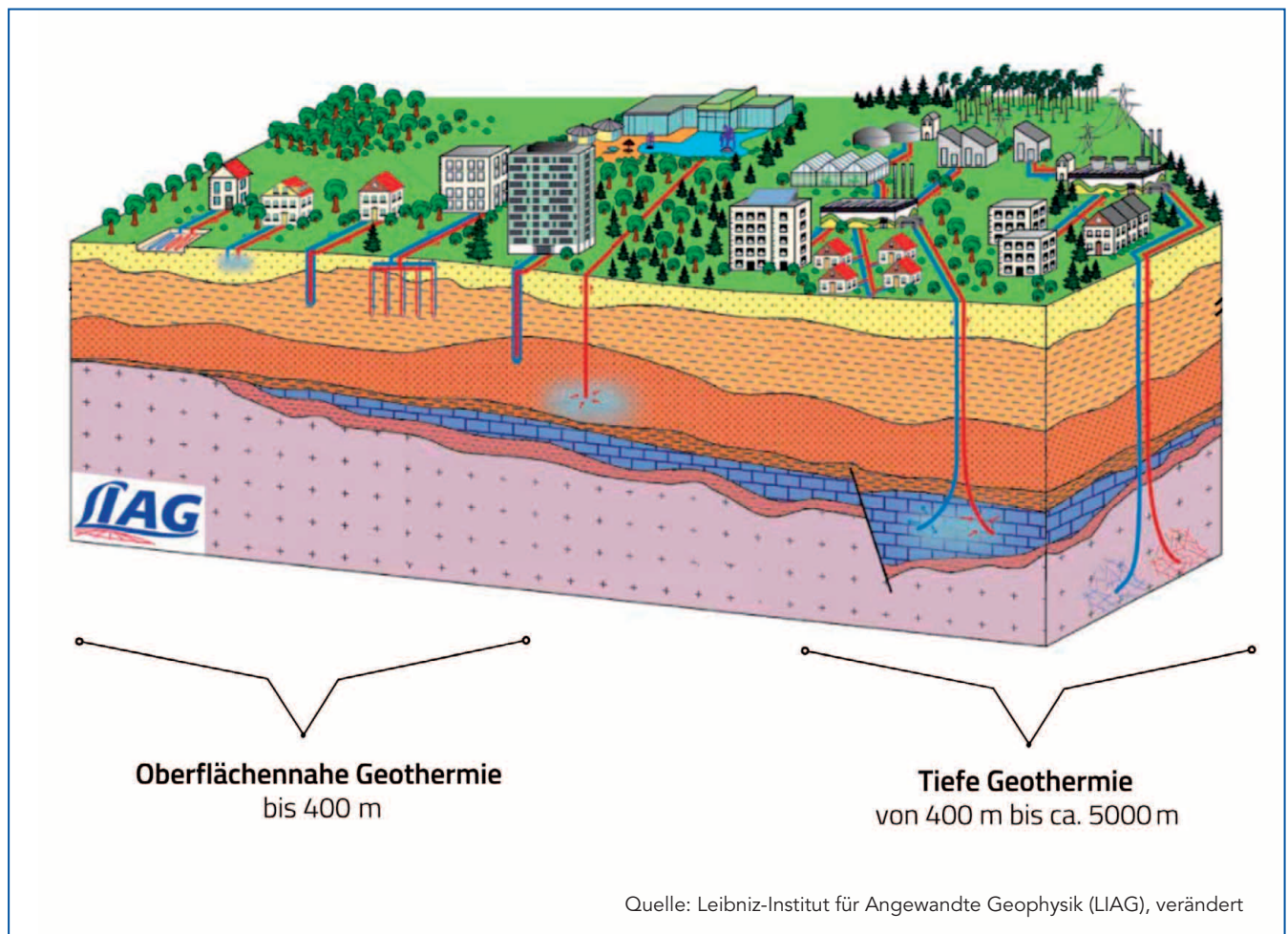


Abbildung 1: Schematische Darstellung verschiedener Technologien zur Erschließung von Geothermie

In Hessen kommen ausgewählte Regionen für eine wirtschaftliche Nutzung von Tiefengeothermie in Frage. Beispielsweise tritt im Oberrheingraben ab einer Tiefe von über 2000 Metern Thermalwasser mit einer Temperatur von über 100 Grad auf. Dieses kann zur Wärmeversorgung von Gebäuden und ggf. zur Stromgewinnung genutzt werden. (Beispiel Geothermiekraftwerk Landau).

In Hessen kann oberflächennahe Geothermie überall genutzt werden. Vor diesem Hintergrund konzentriert sich dieses Faktenpapier auf die Beschreibung und Funktionsweise von oberflächennaher Geothermie. Die meisten dieser Anlagen arbeiten mit geschlossenen Wärmetauschern wie Erdwärmesonden, Flächenkollektoren oder Erdkörben. Darin zirkuliert eine Flüssigkeit als Wärmeträgermedium, welche dem Erdreich thermische Energie entzieht und diese ins Gebäude transportiert.

Darüber hinaus ist auch die direkte Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle möglich. Die Temperaturen bei 100 Meter unter der Geländeoberkante betragen in Deutschland zwischen 10 und 20 Grad. Die Temperatur der Wärmequelle wird durch eine Wärmepumpe (siehe Kapitel 6) auf die gewünschte Temperatur zur Raumheizung und Warmwasserbereitung angehoben. Die Anlagen sind in allen Größenordnungen skalierbar, für das Einfamilienhaus bis hin zum Großprojekt.

VORTEILE DER GEOTHERMIE

Die Nutzung des Erdreichs zur Bereitstellung von Energie (Geothermie), leistet einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Wärmewende, denn:

- ▶ Geothermie ist die einzige vom Wetter unabhängige, erneuerbare Energieform, die immer zur Verfügung steht.
- ▶ Geothermie ist eine lokale Energiequelle und ist in lokale Wirtschaftskreisläufe eingebunden.
- ▶ Geothermie ist aktiver Klimaschutz, da kein Kohlenstoff verbrannt wird, wenn der Strom für Wärmepumpen aus Erneuerbarer Energie stammt.
- ▶ Geothermie erlaubt die höchsten CO₂-Einsparungen je kWh bei geringstem Flächenverbrauch.
- ▶ Es wird kein Feinstaub emittiert.
- ▶ Geothermie bietet die effizienteste Form der Sektorkopplung. Aus einer kWh Strom können bei Oberflächennaher Geothermie 5 kWh Wärme erzeugt werden. Bei Tiefer Geothermie beträgt die Jahresarbeitszahl sogar bis zu 30.
- ▶ Mit Geothermie kann die Heizung und Kühlung von Gebäuden erfolgen.



Abbildung 2: Geothermie zur Versorgung von Mehrfamilienhäusern in Frankfurt Riederwald



Abbildung 3: Nutzung von Geothermie im Großprojekt Quartier Kaiserlei in Offenbach

DIE WÄRMEWENDE MUSS DEUTLICH AN GESCHWINDIGKEIT GEWINNEN – DREI FRAGEN AN ANDRÉ DEINHARDT:

Herr Deinhardt, welche Rolle wird Geothermie in der zukünftigen Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland und des Landes Hessen spielen?

„2020 hatten Erneuerbare Energien nur einen Anteil von etwa 14 Prozent an der Wärmeversorgung Deutschlands. Aber gut 46 Prozent des Stroms wurden durch Erneuerbare Energien bereitgestellt. Wenn es uns gelingen soll, bis zum Jahr 2050 eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung zu verwirklichen, dann muss auch die Geothermie einen guten Beitrag dazu leisten.“

Wärme und Kälte aus geothermischen Anlagen sind unabhängig von Wetterbedingungen und unter Einhaltung der technischen Vorschriften und Regeln sehr sicher und umweltfreundlich zu nutzen. Sicher ist, dass weite Teile des Landes für mitteltiefe und oberflächennahe Geothermie genutzt werden können. In Hessen muss das Potential für tiefengeothermische Anwendungen stärker erforscht werden.

Ich kann nicht abschätzen, welchen Anteil Geothermie-Anlagen in Hessen bis zum Jahr 2050 an der Wärme- und Kälteversorgung haben werden, aber es sollten alle Anstrengungen unternommen werden, um beim Neubau von Gebäuden und in der Sanierung von Bestand, Geothermie als sichere und langlebige Versorgungsvariante in die Überlegungen mit einzubeziehen.“

Warum ist denn das bisher nicht passiert?

„Dass in den letzten Jahren nichts passiert ist, stimmt so nicht. Aber in der Tat hat sich die Anzahl der Geothermie-Anlagen, die jährlich installiert wurden, auf einem niedrigen Niveau von bundesweit ca. 20.000 bewegt. Dies lag vor allem an den ungünstigen Rahmenbedingungen. Der Bundesverband Geothermie und der Gesetzgeber arbeiten hier aber aktuell an umfangreichen Verbesserungen für die Nutzer von Geothermie. Dazu zählen eine Senkung der EEG-Umlage für Wärmepumpenstrom, die Belastung von fossilen Energieträgern im Wärmemarkt, die Austauschpflicht für alte Öl-Heizungen, neue Förderschemata und Verbesserungen bei der Genehmigung der Geothermie-Anlagen.“

Derzeit gibt es ca. 440.000 oberflächennahe Geothermie-Anlagen in Deutschland mit einer Gesamtleistung von 6.300 MW. Ich möchte in diesem Zusammenhang betonen, dass für die qualitativ hochwertige Ausführung von Geothermie-Bohrungen qualifiziertes Personal zur Verfügung stehen muss. Geothermie kann ein Jobmotor auch für Hessen werden. Derzeit arbeiten 25.000 Menschen in der Branche (DESTATIS). Bei in Zukunft mehr Ausbau braucht es auch einen Nachwuchs an qualifizierten Mitarbeitern bei den Genehmigungsbehörden.“

Was wünschen Sie sich für die Entwicklung in den nächsten Jahren?

„Wir benötigen eine Kampagne, um die Möglichkeiten der Geothermie stärker ins Bewusstsein von Planer*innen und Gebäudeverantwortlichen zu bringen. Dazu gehören Informationsformate wie dieses, die einen guten Überblick und Zugang zum Thema verschaffen. Aber eben auch flankierende Maßnahmen von Bund und Land Hessen durch Kampagnen und Fördermittel. Die Nutzung des Untergrunds zur Wärmegegewinnung und Kälteversorgung ist in vielen Fällen eine wirtschaftlich gute Alternative.“

Den, im Vergleich zu einer Gas- oder Ölheizung, höheren Investitionskosten stehen langfristige, sehr niedrige Betriebs- und Wartungskosten gegenüber. Weiterhin bietet Geothermie die Möglichkeit, das Erdreich auch im Sommer zur Kühlung zu nutzen. Gerade für Quartiere haben sich in den vergangenen Jahren einige interessante Lösungen (z.B. Kalte Nahwärme oder Geothermie zum Wärmen und Kühlen) entwickelt.“

Herr Deinhardt, wir danken Ihnen für dieses Gespräch.



3. ENTWICKLUNG DER GEOTHERMIE IN HESSEN

Dr. Sven Rumohr

Hessisches Landesamt
für Naturschutz,
Umwelt und Geologie

Themenfeld:
Oberflächennahe
Geothermie



3.1 DIE ENTWICKLUNG BIS 2020

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) im Geschäftsbereich des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) berät als technisch-wissenschaftliche Behörde unter anderem zu Fragen des Grundwasserschutzes. Da Erdwärmennutzungen in der Regel mit einem Eingriff oder einer potenziellen Auswirkung auf das Grundwasser verbunden sind, berät das HLNUG auch zu allen Fragen der Geothermie.



Abbildung 4: Soleverteiler eines Erdsondenfelds

Während es für die Installation von Erdwärmekollektoren (bis zu einer Tiefe von ca. 3 Metern) in den meisten Fällen keiner Genehmigung bedarf, sind Erdwärmesonden generell genehmigungspflichtig. Das durch die hessischen „Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden“ geregelte Genehmigungsverfahren wird detailliert im Leitfaden zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie des HLNUG beschrieben.

Während es infolge des für Erdwärmesonden und geothermische Brunnenanlagen erforderlichen Genehmigungsverfahrens eine sehr gute Datenbasis bzgl. deren Anzahl, Heizleistung und weitere Parameter gibt, fehlen entsprechende Daten für Erdwärmekollektoren.

Die Abbildung 6 auf Seite 10 zeigt, wie groß im Falle von Erdwärmesonden-Anlagen die Anteile verschiedener Wärmepumpen-Heizleistungen in Hessen sind. Heizleistungen von bis zu 15 kW, die überwiegend im privaten Wohngebäudebau benötigt werden, machen demnach ca. 3/4 aller Erdwärmesonden-Anlagen aus.

Aber nicht nur Wohngebäude, sondern auch Schulen, KiTas, Verwaltungs- und Funktionsgebäude sowie Unternehmen werden durch Geothermie-Anlagen versorgt.

Neben den ca. 9.100 Erdwärmesonden-Anlagen, im Schnitt mit zwei Erdwärmesonden und einer unbekann-



Abbildung 5: Blick auf die Steuerinstrumente eines Geothermie-Bohrgeräts

ten Zahl an Erdwärmekollektoren, sind in Hessen ca. 280 geothermische Brunnenanlagen installiert, die Wasser als Wärmequelle nutzen.

In Hessen werden aktuell etwa 200 bis 250 Erdwärmesonde-Anlagen pro Jahr installiert. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass sich die Anzahl der pro Jahr installierten Anlagen, nach einem starken Anstieg in den 2000ern, auf dem heutigen Niveau eingependelt hat (vgl. Abb. 7).

3.2 EINSCHRÄNKUNG GRUNDWASSERSCHUTZ

Das Grundwasser ist ein sehr hohes Gut. Daher darf die Qualität des Grundwassers durch die Installation von Erdwärmesonden nicht beeinträchtigt werden. Mögliche Gefahren liegen im Eintrag von Verschmutzungen, der Verbindung verschiedener Grundwasserleiter (sog. „hydraulischer Kurzschluss“) oder auch in der Erwärmung des Grundwassers, wenn die Erdwärmesonden

zur Kühlung genutzt werden. In Wasserschutzgebieten dürfen Erdwärmesonden nur in der äußeren Schutzzone IIIB errichtet werden. Die Schutzzonen I bis III bzw. IIIA werden dementsprechend als „wasserwirtschaftlich unzulässig“ für Erdwärmesonden bezeichnet.

Ist aufgrund bestimmter hydrogeologischer Situationen zu vermuten, dass sich Bohrungen nachteilig auf das Grundwasser auswirken können, werden diese Bereiche als „hydrogeologisch ungünstig“ im Hinblick auf die Errichtung von Erdwärmesonden eingestuft. In diesen Bereichen werden Vorhaben vor der Erteilung einer Genehmigung gesondert durch das HLNUG geprüft. Welche Schritte für die Genehmigung erforderlich sind, kann dem Leitfaden Erdwärmennutzung des HLNUG entnommen werden.

Außerhalb der wasserwirtschaftlich unzulässigen Gebiete wurden bisher nahezu alle beantragten Anlagen genehmigt, ggf. mit entsprechenden Planänderungen und Auflagen.

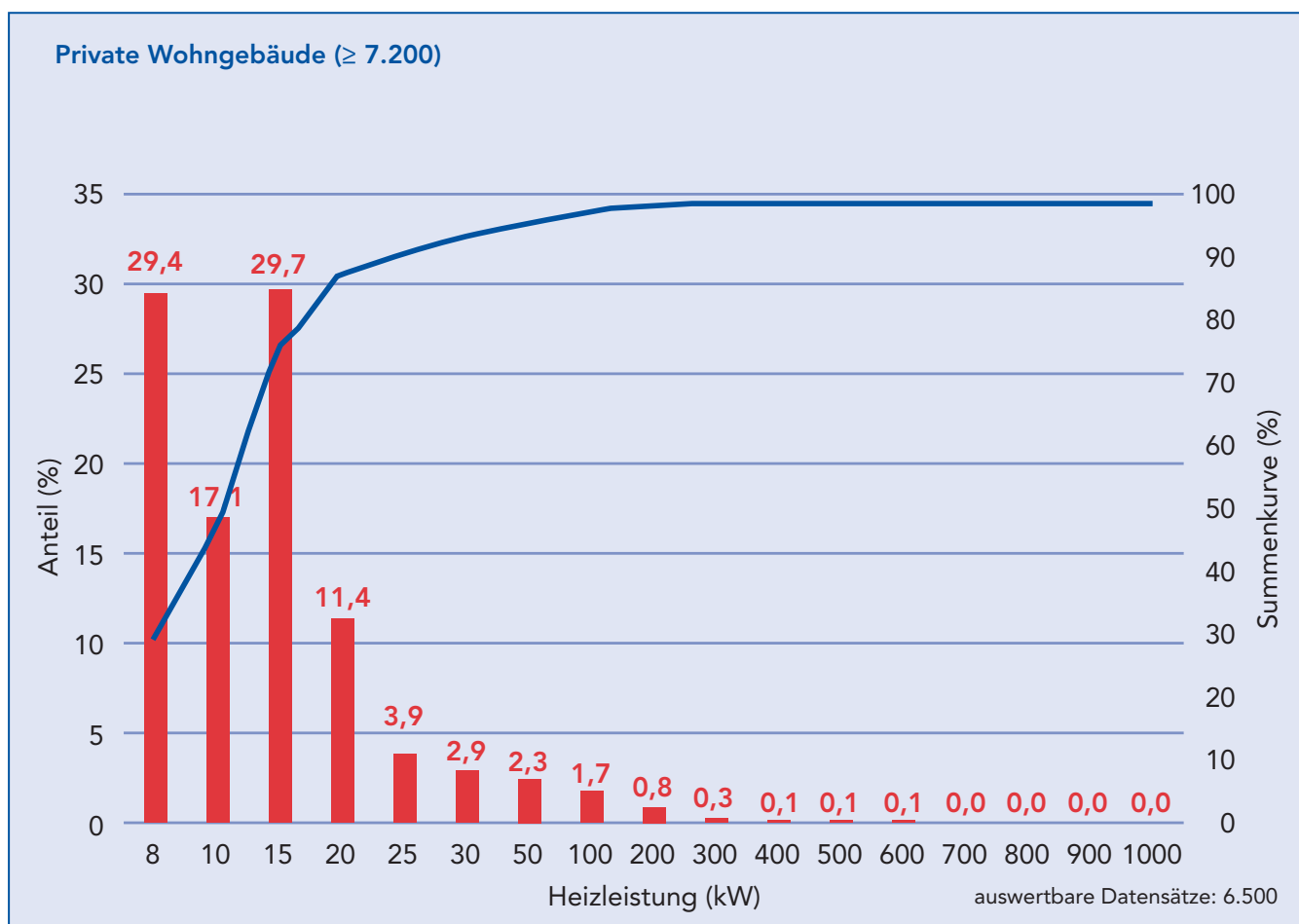


Abbildung 6: Verteilung der Geothermieanlagen nach Leistung in Hessen (Stand 2020)

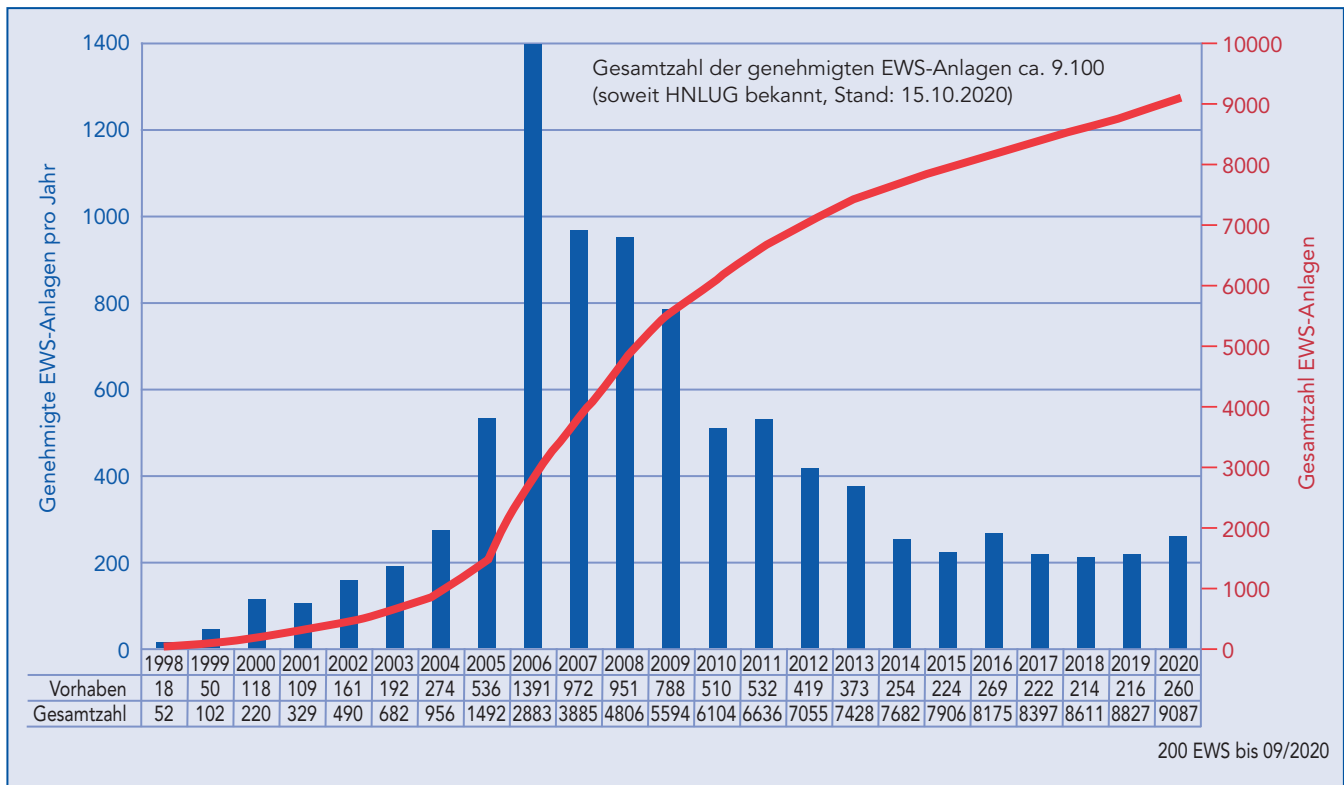


Abbildung 7: Entwicklung der errichteten EWS-Anlagen von 1998 bis 2020 in Hessen

3.3 EINSCHRÄNKUNG BERGRECHT

Nach Bundesberggesetz (BBergG) ist für die Erdwärmegewinnung mit Heizleistungen bis 30 kW auf dem eigenen Grundstück keine bergrechtliche Genehmigung notwendig, wenn der Abstand der Sonde zum Nach-

bargrundstück mindestens 5 Meter beträgt. Wird eine Bohrtiefe von über 100 Metern angestrebt, prüft die Bergbehörde, ob von der Bohrfirma ergänzend ein Betriebsplan vorzulegen ist. Dieser regelt den Arbeitsschutz während der Baumaßnahme.

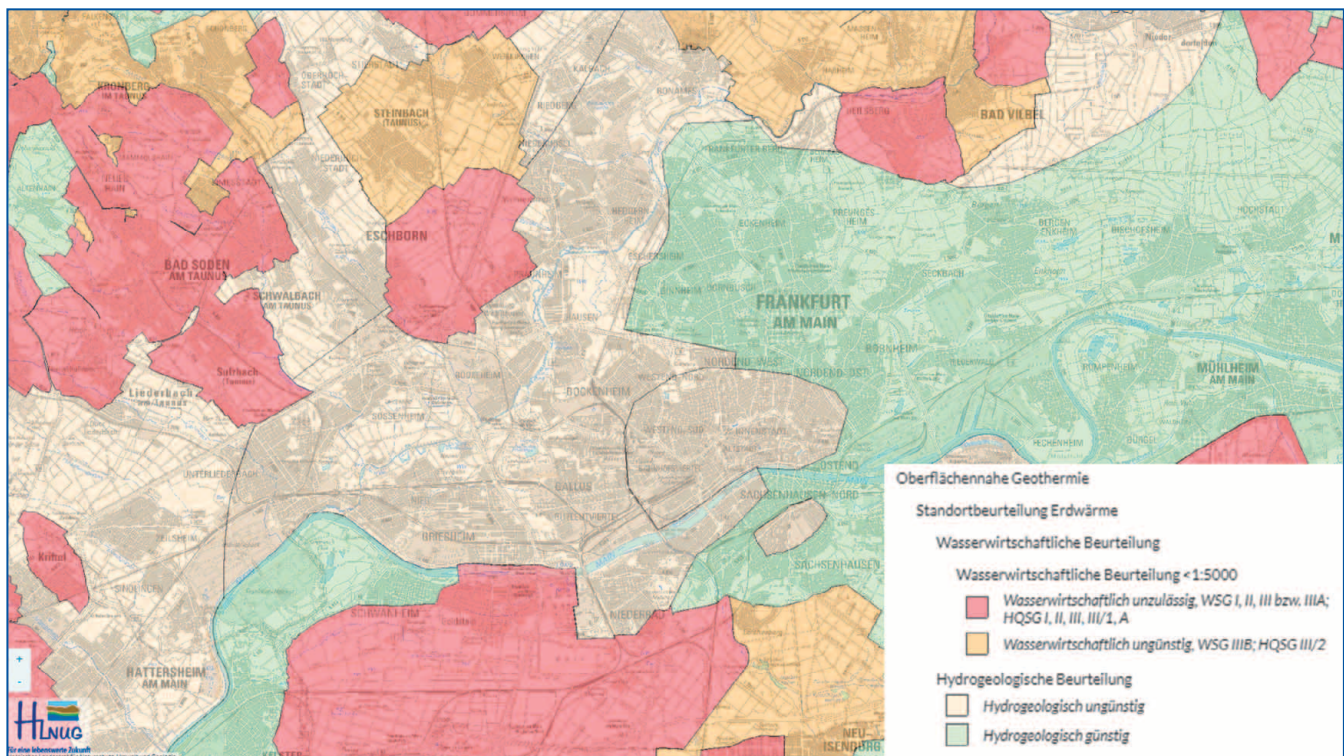


Abbildung 8: Kartenausschnitt der Standortbeurteilung von Erdwärme im Raum Frankfurt (Quelle: Geoviewer HNLUG – Stand 07/2021)

4.3 STECKBRIEFE OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE

Um die Grundlage für die Planung von Geothermieanlagen in konkreten Baugebieten deutlich zu verbessern, wurde der Untergrund mithilfe von Erkundungsbohrungen wärmetechnisch exakt vermessen. Diese Bohrungen – mit einer Tiefe von bis zu 100 Metern – können später auch für den Betrieb als Erdwärmesonde genutzt werden. Die Erkundungsbohrungen liefern konkrete Daten über die Temperatur, die Wärmeleitfähigkeit sowie die Ergiebigkeit des Untergrunds. Sie tragen entscheidend zur exakten Auslegung der Erdwärmegewinnungsanlage im Untersuchungsgebiet bei.

Weitere Sondierungsbohrungen sind in Vorbereitung, so dass in ausgewählten Neubaugebieten zukünftig exakte Planungsgrundlagen zur Verfügung stehen.

Der nachfolgende QR-Code führt Sie beispielhaft zum Steckbrief „Oberflächennahe Geothermie“ (EWS) für das Baugebiet „Die vier Morgen“ in Erzhausen.

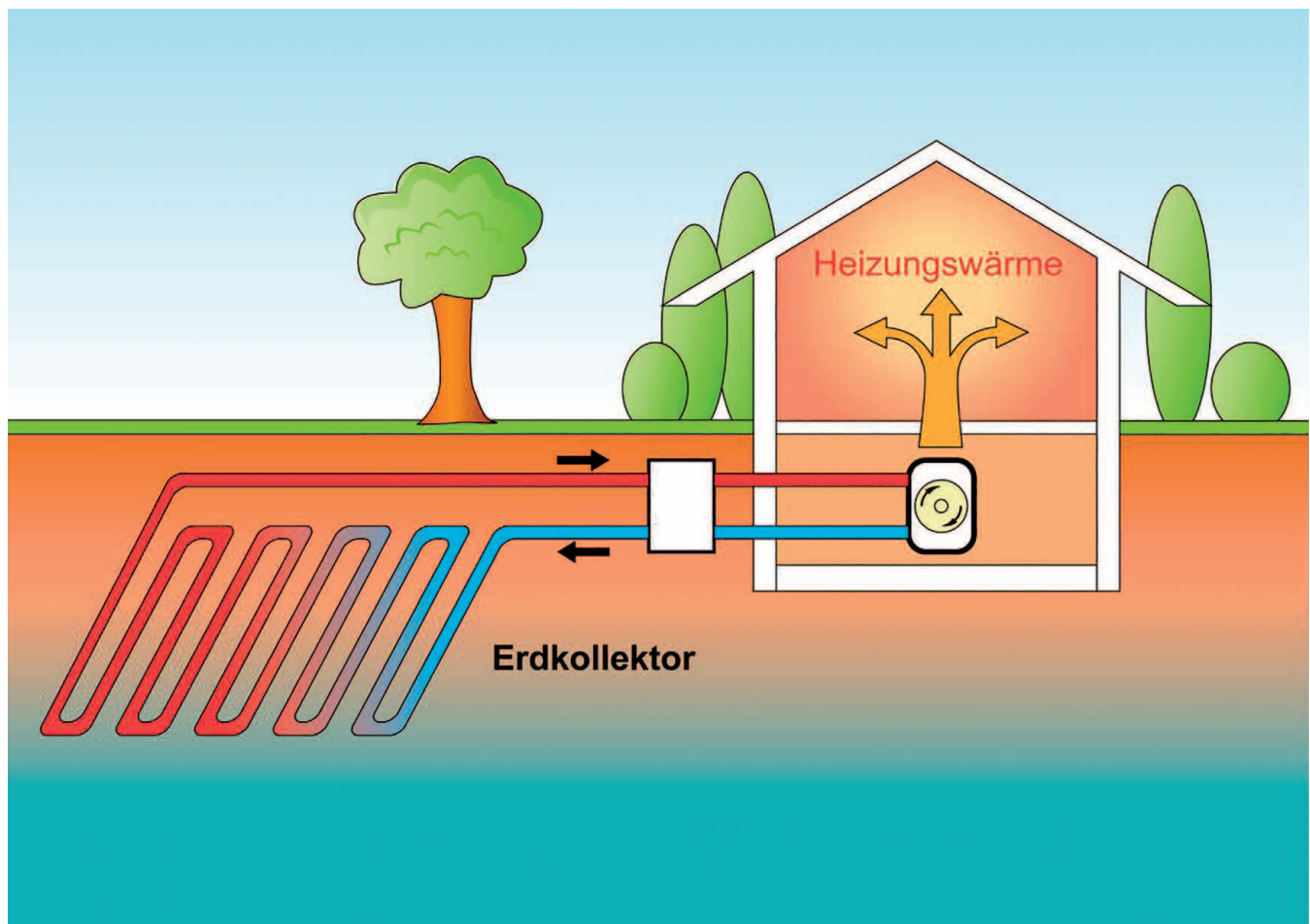


Abbildung 11: Schematische Darstellung eines Erdwärmekollektors

5. WEITERE INFORMATIONEN AUS DEM „GEOTHERMIE-VIEWER HESSEN“

Die im vorigen Kapitel dargestellten Daten aus dem Informationssystem „Geothermie-Viewer Hessen“ sind nur ein Auszug aus dem über diesen Fachdatenviewer abrufbaren Informationsangebot.

Link und QR-Code zum Online-Angebot:
<http://geologie.hessen.de/>



Für den Bereich der oberflächennahen Geothermie stehen noch folgende weitere Informationsebenen (Layer) zur Verfügung, die entweder einzeln oder auch in Kombination abgerufen werden können (vgl. Abb. 7).

5.1 WÄRMELEITFÄHIGKEIT IM OBERFLÄCHENNAHEN UNTERGRUND

Durch eigene Messungen des HLNUG und Werte aus der Literatur wurden den bekannten Gesteinsformationen spezifische Wärmeleitfähigkeiten zugeordnet. Auf Grundlage der hessischen Bohrdatenbank (Auswertung von Gesteinsproben aus durchgeführten Bohrungen) wird die Wärmeleitfähigkeit für das trockene Gestein mit luftgefüllten Hohlräumen für verschiedene Tiefen dargestellt. Die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit kann bei Berücksichtigung des jeweiligen Wassergehalts des Gesteins errechnet werden.

Erweiterung der Informationen oberflächennaher Erdwärmennutzung

Das System wird kontinuierlich erweitert und um folgende Bereiche ergänzt:

- ▶ Darstellung der geothermischen Steckbriefe, die aus den Erkundungsbohrungen entstehen.
- ▶ Informationen darüber, welche Voraussetzung für Erdwärmesonden in der Nähe zu erbringen sind (Stellungnahmen des HLNUG für wasserrechtliche Genehmigungen in der Nähe können dann auf das eigene Vorhaben übertragen werden).



Dr. Johann-Gerhard Fritsche

Rohstoffgeologie
und Geoenergien

Hessisches Landesamt
für Naturschutz,
Umwelt und Geologie

www.hlnug.de

5.2 TIEFENGEOTHERMIE

Im Geothermie-Viewer Hessen sind auch vielfältige Informationen zur mitteltiefen und tiefen Geothermie hinterlegt. Die Kartendarstellungen beruhen auf dem „3D-Modell der geothermischen Tiefenpotentiale in Hessen“ (Hessen 3D 1.0). Gefördert vom Hessischen Ministeriums für Umwelt Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) wurde dies in Zusammenarbeit von HMUKLV und der TU Darmstadt (Institut für Angewandte Geowissenschaften) erstellt. Künftig werden weitere Daten aus dem Folge-Projekt „Hessen 3D 2.0“ hinzukommen.

Auch für den geothermischen Laien finden sich hier interessante Informationen, zum Beispiel eine Darstellung der Untergrundtemperatur und des geothermischen Potenzials für verschiedene Nutzungsarten in unterschiedlichen Tiefen (Horizontalschnitte).

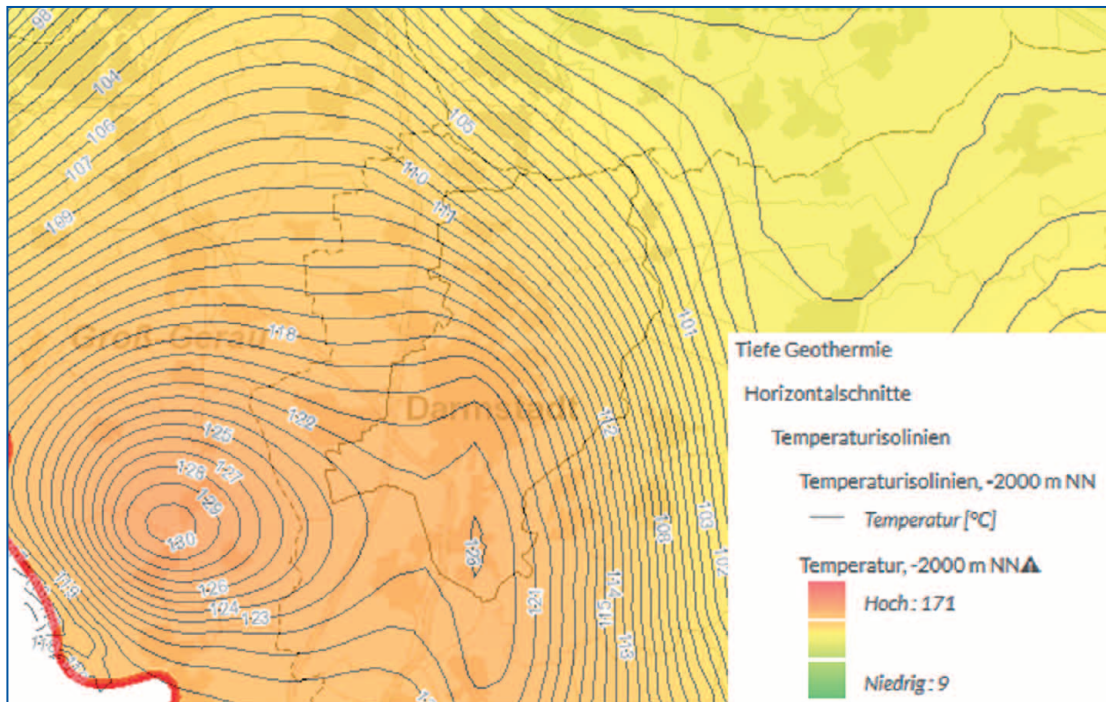


Abbildung 12: Kartenausschnitt der Temperatur in einer Tiefe von 2.000 Metern im Raum Darmstadt (Quelle: Geoviewer HLNUG – Stand 03/2021)

Dr. Kristian Bär

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet: Angewandte Geothermie

www.geo.tu-darmstadt.de



5.3 HESSEN GANZ TIEF – FORSCHUNG ZUR TIEFENGEOTHERMIE IN HESSEN

Die durch die genannten Forschungsvorhaben entstandenen Modelle und Karten sind über den Geothermie-Viewer Hessen verfügbar und Bestandteil des geothermischen Informationssystems für Deutschland (GeotIS). In dem Folgevorhaben wurden von einem Forscher*innenteam die vorhandenen Informationen für ausgewählte Regionen detailliert und erweitert. Unter Beteiligung des Helmholtz GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ) und des HLNUG, gefördert durch das Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi).

Folgende Aufgaben wurden umgesetzt:

- ▶ Berechnung flächendeckender Angaben zu den geothermischen Potenzialen in großen Tiefen (2.000 - 6.000 Metern) und mitteltiefen Bereichen (400 - 2.000 Metern) in Hessen
- ▶ Bereitstellen von Grundlagen für eine bessere Einschätzung des Fündigkeitsrisikos für geothermische Bohrungen, um eine Versicherung dieses Risikos zu ermöglichen
- ▶ Erweiterung der Datenbanken zu verschiedenen geothermischen Eigenschaften der hessischen Geologie
- ▶ Erstellung von detaillierten Untergrund- und Temperaturmodellen für Hessen

Die entwickelten Modelle liefern wichtige und anschauliche Informationen zum tiefengeothermischen Potenzial und zur Ausbildung des tieferen Untergrundes von Hessen. Sie liefern Informationen für die Öffentlichkeit, für politische Entscheidungsträger*innen, für Investor*innen aus der Wirtschaft und stellen – insbesondere in der Frühphase der Planung tiefengeothermischer Projekte – erste Daten für Fachplaner*innen bereit. Sie können und sollen aber nicht die detaillierten Untersuchungen im Rahmen konkreter Projekte ersetzen.

Im Folgenden einige ausgewählte Ergebnisse aus dem Projekt „Hessen 3D“:

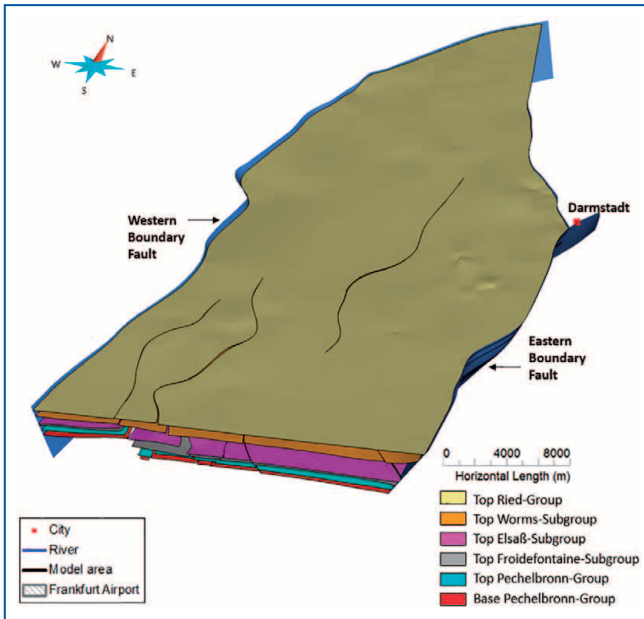


Abbildung 13: Geologisches 3D-Modell des nördlichen Oberrheingrabens

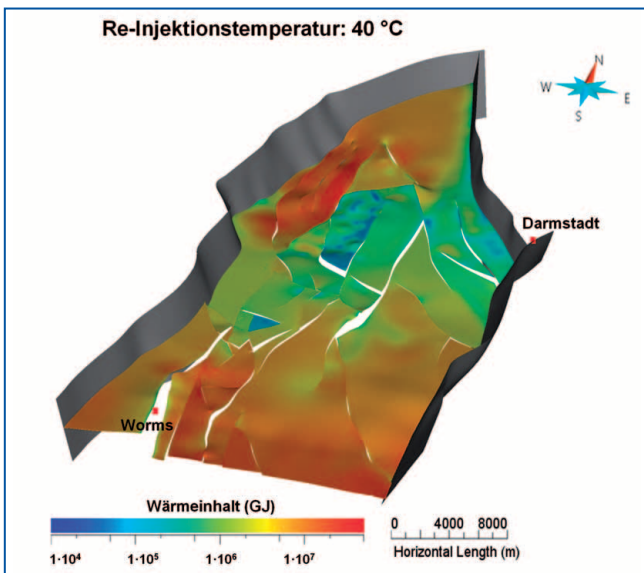


Abbildung 14: Gewinnbare Wärmemengen aus der Reservoir-einheit ‚Pechelbronn-Gruppe‘ im nördlichen Oberrheingrabens

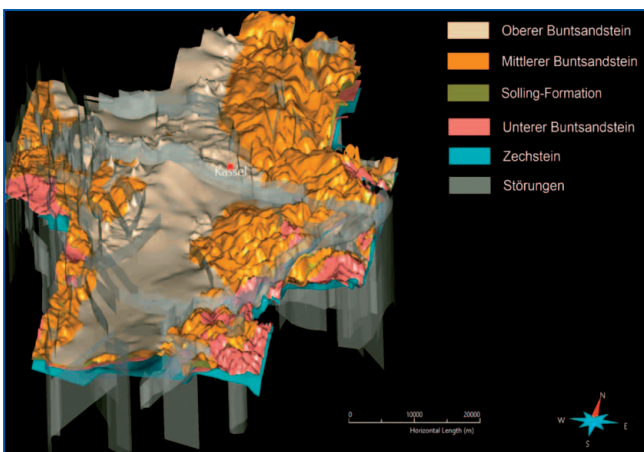


Abbildung 15: Geologisches 3D-Modell Nordosthessens „Region Kassel“

ERGEBNISSE:

- ▶ In „Hessen 3D 2.0“ wurden neue geologisch-geothermische 3D Modelle für den Oberrheingraben, Nordosthessen und das kristalline und metamorphe Grundgebirge erstellt.
- ▶ Für jedes dieser Gebiete wurde das geothermische Potenzial berechnet. Dies kann zukünftig im Geothermie-Viewer des HLNUG und im geothermischen Informationssystem von Deutschland „GeotIS“ abgerufen werden.
- ▶ Im Oberrheingraben sind gute Potenziale für eine geothermische Wärmeengewinnung und saisonale Wärmespeicherung vorhanden.
- ▶ In Nordosthessen wurden gute Potenziale für hydrothermale Dubletten und für Aquifer-Wärmespeicher identifiziert.
- ▶ Das Grundgebirge weist insbesondere in Südhessen hohe geothermische Potenziale auf.
- ▶ Projekte sollten transparent geplant und unter intensiver Einbindung der Forschungseinrichtungen, Fachbehörden und der Öffentlichkeit entwickelt und realisiert werden.
- ▶ Für die Entwicklung geothermischer Projekte zur Wärmeversorgung und Stromgewinnung sind lokal weitere Erkundungsmaßnahmen durch die Projektentwickler nötig.
- ▶ Genehmigungsrechtliche Belange sind von Anfang an in die Planung miteinzubeziehen.

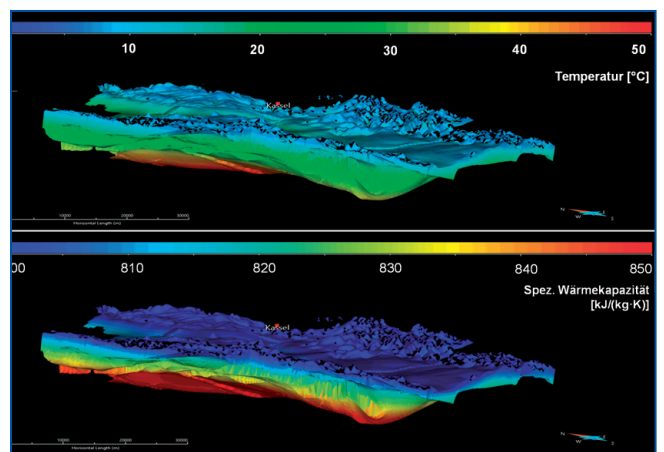


Abbildung 16: Geothermisches 3D-Modell Nordosthessens „Region Kassel“ mit Untergrundtemperatur und Wärmekapazität des Buntsandsteins

6. DIE WÄRMEPUMPE ALS SCHLÜSSEL-TECHNOLOGIE FÜR DEN KLIMASCHUTZ

Dr. Martin Sabel

Geschäftsführer

Bundesverband
Wärmepumpe (BWP)

www.waermepumpe.de



Die Wärmepumpe kann bei hoher Effizienz und unter Nutzung von zunehmenden Anteilen erneuerbaren Stroms einen entscheidenden Beitrag zur Wärmewende leisten. Wärmepumpen beziehen einen Großteil der benötigten Energie zum Heizen aus der Umwelt. Als Wärmequellen dienen hierbei üblicherweise Luft, Erdreich, Grundwasser oder Außenluft. Um die frei zur Verfügung stehende Umweltwärme zu nutzen, benötigen Wärmepumpen lediglich einen kleinen Anteil Strom für

den Antrieb und die Pumpe. Das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe ist schematisch in Abbildung 17 dargestellt.

→ Schritt 1: Gewinnung

In der Wärmequellenanlage zirkuliert eine Flüssigkeit, häufig ein Wasser-Glykol-Gemisch, welche die Umweltwärme aus dem Erdreich bzw. dem Grundwasser aufnimmt und zur Wärmepumpe transportiert. Bei Luft-Wärmepumpen wird die Zufuhr der Umgebungswärme durch Außenluft gewährleistet.

→ Schritt 2: Nutzbarmachung

In einem weiteren Kreislauf zirkuliert ein Kältemittel. Im Verdampfer wird die Umweltenergie vom ersten Kreislauf auf das Kältemittel übertragen, das dadurch verdampft. Der Kältemitteldampf wird anschließend zum Verdichter weitergeleitet. Hierbei steigt die Temperatur des Kältemittels an. Im sogenannten Verflüssiger wird das heiße, unter hohem Druck stehende Kältemittel nun kondensiert, wobei es seine Wärme wieder abgibt. Anschließend wird das verflüssigte Kältemittel zu einer Drossel geleitet, in der der Druck des Kältemittels wieder verringert wird. Das flüssige, entspannte Kältemittel wird schließlich wieder zum Verdampfer zurückgeführt.

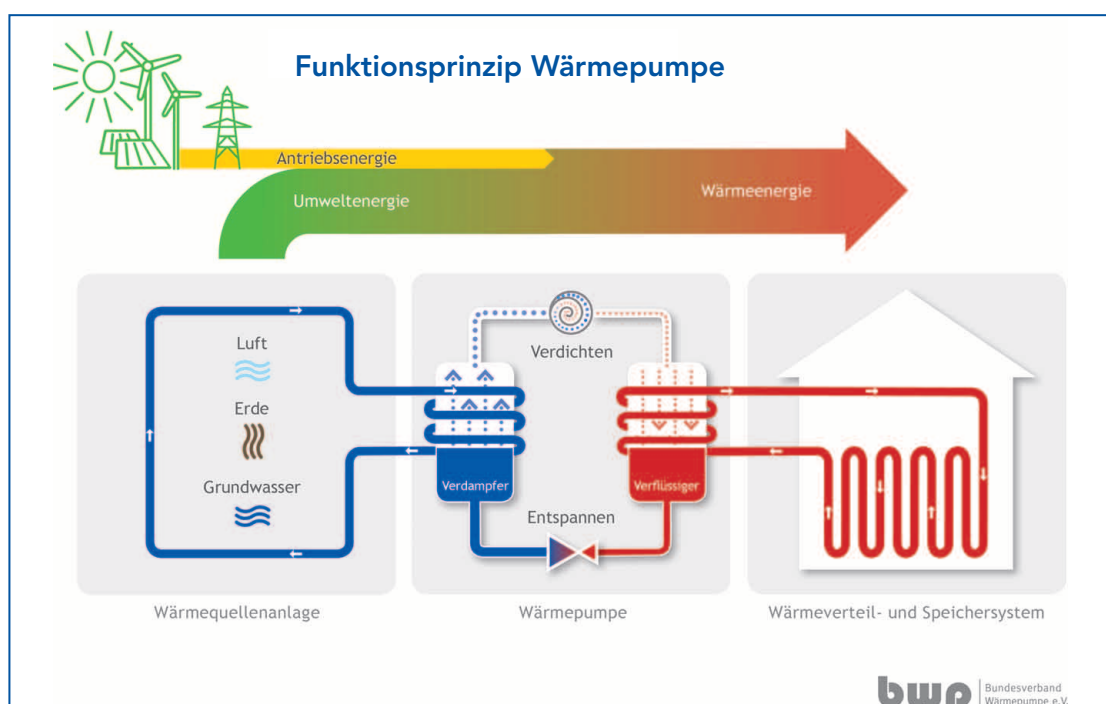


Abbildung 17:
Funktionsprinzip
Wärmepumpe

→ Schritt 3: Beheizung

Im zu beheizenden Gebäude befindet sich das Wärmeverteil- und Speichersystem. Darin zirkuliert das Heizmedium, in der Regel Wasser. Dieses Wasser nimmt die Wärme auf, die das Kältemittel im Verflüssiger abgibt und verteilt, bzw. speichert es im Gebäude. Um die Wärmepumpe als zentrales Heizsystem effizient nutzen zu können, sollte das Gebäude mit Vorlauftemperaturen von bis zu 55 °C beheizt werden können. Um dies zu erreichen, spielt ein geeignetes Verteilsystem eine wichtige Rolle. Zum Beispiel sind Niedertemperaturheizkörper geeignet, um mit niedrigen Vorlauftemperaturen arbeiten zu können.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) von Erdreichwärmepumpen beträgt ca. 4. Das bedeutet, dass sich aus einer kWh Strom auf diese Weise ca. vier kWh Wärme erzeugen lassen.

Die Wärmepumpe wird aufgrund des stetig wachsenden Anteils erneuerbarer Energien am Stromverbrauch (Stand 2020 ≈ 46%) ihren Beitrag am Klimaschutz kontinuierlich steigern (vgl. Abb. 18).

Bei Betrachtung jährlicher Absatzzahlen von Heizungswärmepumpen in Deutschland wird deutlich, dass die Nachfrage kontinuierlich über die Jahre steigt. Im Jahr 2020 wurden rund 120.000 Heizungswärmepumpen

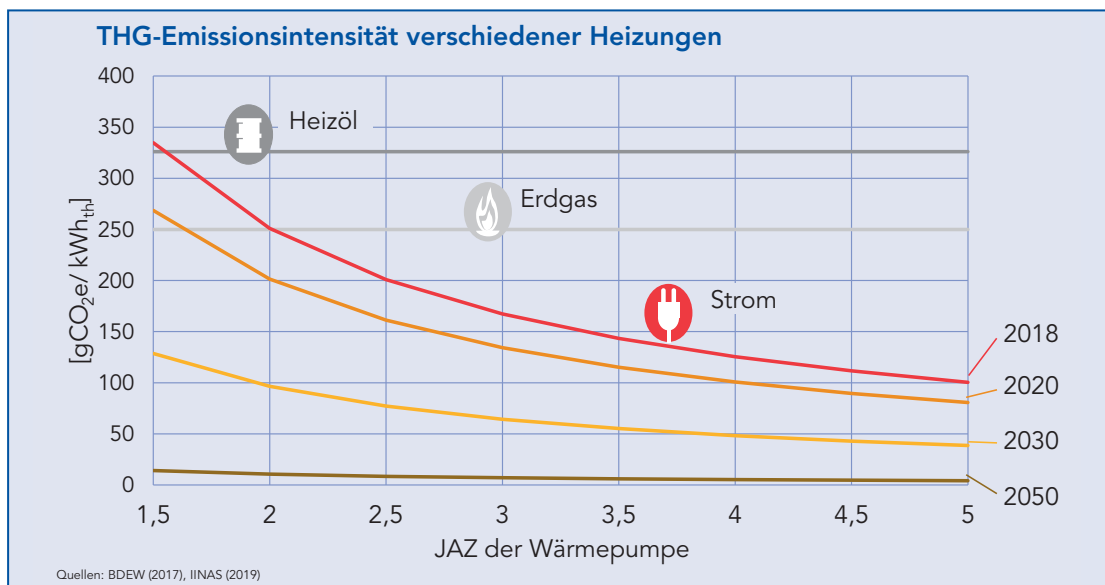


Abbildung 18: Spezifische THG-Emissionen verschiedener Heizungstechnologien

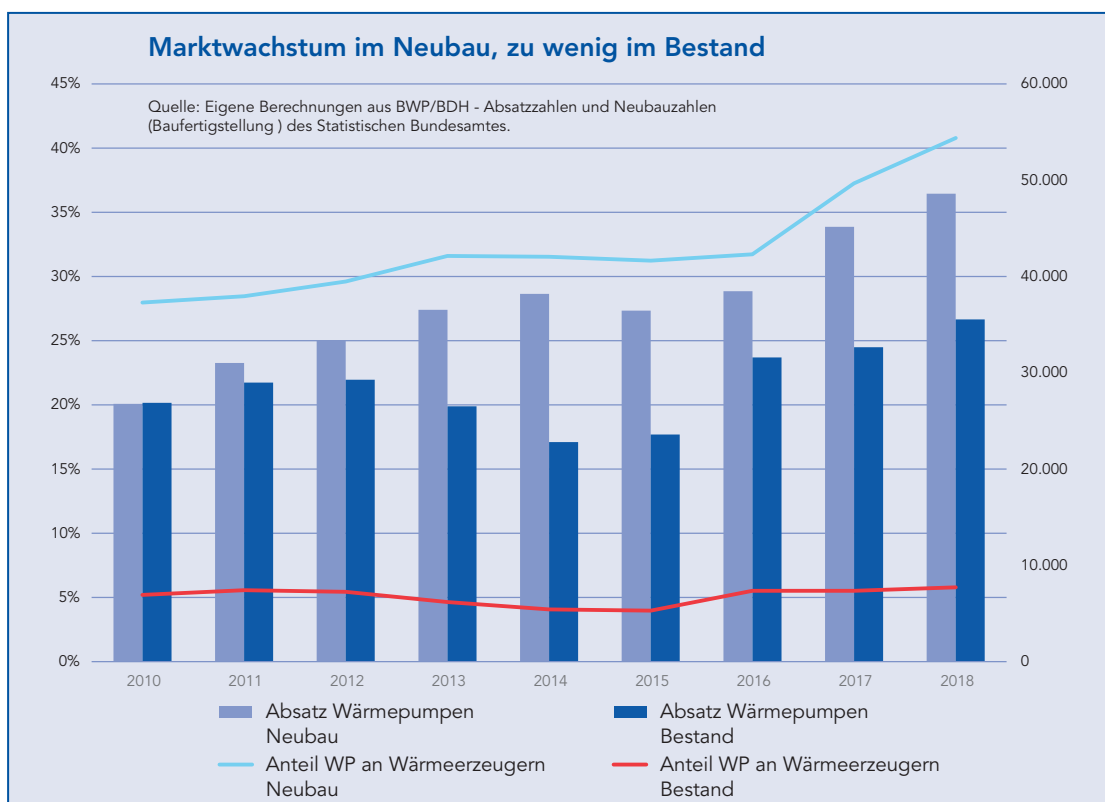


Abbildung 19: Entwicklung der jährlichen Marktanteile von Wärmepumpen im Neubau und im Bestand

verkauft. Im Neubau kommt die klimaschonende Technik mit Abstand am meisten zum Einsatz. Im Bestand hingegen stagniert der Anteil von Wärmepumpen. Seit mehreren Jahren liegt dieser bei etwa 5 Prozent in Bezug auf die Summe aller Wärmeerzeuger (vgl. Abb. 19).

Dies hat zur Folge, dass im Wärmesektor der erneuerbare Anteil am Endenergieverbrauch über Jahre hinweg bei 14 Prozent stagniert. Das liegt zum einen an den höheren Investitionskosten für Wärmepumpensysteme gegenüber einer Heizung, die zum Beispiel mit Erdgas betrieben wird und an den relativ niedrigen Brennstoffkosten von Öl und Gas in den vergangenen Jahren.

Langfristig ist die Nutzung von oberflächennaher Geothermie über Wärmepumpen ökonomisch von Vorteil. Der Austausch eines Heizsystems wird aktuell über die Bundesförderung effiziente Gebäude – Einzelmaßnah-

men (BEG EM) mit einem Zuschuss von bis zu 50 Prozent unterstützt, wenn dieses an Stelle fossiler Energie (wie z. B. Heizöl) die Geothermie nutzt. (vgl. Abb. 20)

Die CO₂-Bepreisung wird in den kommenden Jahren dazu führen, dass die Kosten für fossile Energieträger kontinuierlich steigen. Durch die Nutzung von Geothermie in Kombination mit Öko-Strom führt die CO₂-Bepreisung jedoch nicht zu erhöhten Stromkosten.

Luftwärmepumpen sind am günstigsten in der Anschaffung und lassen sich deutlich leichter installieren. Es wird weder ein Genehmigungsverfahren noch eine Bohrung benötigt. Erdgekoppelte Wärmepumpen hingegen besitzen eine deutlich höhere Effizienz, verursachen keinerlei störende Geräuschentwicklung durch Luftströmungen und können im Sommer auch zur passiven Kühlung eingesetzt werden.



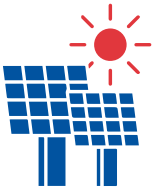

Art der Heizungsanlage		Standardfördersatz	Austauschprämie Ölheizung
	Wärmepumpe	35 %	45 %
	EE-Hybridheizungen (z.B. Wärmepumpe + Solarthermie)	35 %	45 %
	Solarthermie	30 %	30 %
	Gas-Hybridheizung	mind. 25 % EE-Wärme	40 %
		Nachrüstung EE-Wärme (mind. 25 %) nach 2 Jahren (Renewable Ready)	20 %

Abbildung 20: Anteilszuschuss durch die BEG EM beim Heizungstausch

iSFP-Bonus: 5 Prozentpunkte bei Maßnahmen aus individ. Sanierungsverfahren

6.1 BEISPIEL: ERZHAUSEN – PLUS-ENERGIE-STANDARD IM NEUBAUQUARTIER

In der Gemeinde Erzhausen, nördlich von Darmstadt, soll eine innovative Neubausiedlung im „Plus-Energie-Standard“ entstehen. Als eine von insgesamt acht Modellkommunen in Hessen steht ihnen für dieses Vorhaben die Hessische Landgesellschaft (HLG) mit langer Erfahrung in der Baulandentwicklung zur Seite.

Auf einer Fläche von 6,7 ha sollen insgesamt 99 Gebäude verschiedener Wohnbautypen (EFH, RH, DH & MH) für ca. 665 Einwohner*innen entstehen.

Die Energielenker Projects GmbH mit Sitz in Greven, Nordrhein-Westfalen, hat für das Neubaugebiet „Die vier Morgen“ ein kommunales Energiekonzept erstellt. Mithilfe von innovativen Technikkonzepten und der Gegenüberstellung verschiedener Varianten, sollte die Frage beantwortet werden, ob der Plus-Energie-Standard im Plangebiet wirtschaftlich realisiert werden kann.



Dipl.-Ing.
Christof Kattenbeck

Energielenker
Projects GmbH

www.energielenker.de



Abbildung 21:
Plangebiet
„Vier Morgen“ in
der Gemeinde
Erzhausen

VORGEHEN:

→ 1. Schritt: Energie-Bedarfsermittlung

Zu Beginn wurden Wärmebedarfsberechnungen für Ein- und Mehrfamilienhäuser mit unterschiedlichen Dämmstandards vorgenommen. Der Strombedarf wurde mithilfe von Durchschnittsverbräuchen der geplanten Wohneinheiten berechnet.

→ 2. Schritt: Potenzielle Erneuerbarer Energien

Im Anschluss wurden die Potenziale zur Energiegewinnung im Untersuchungsgebiet ermittelt. Ein Schwerpunkt lag hierbei auf Photovoltaik und Geothermie. Durch Informationen des HLNUG sowie den Ergebnissen einer Probebohrung im Plangebiet, ließ sich das Potenzial der oberflächennahen Erdwärme gut abschätzen.

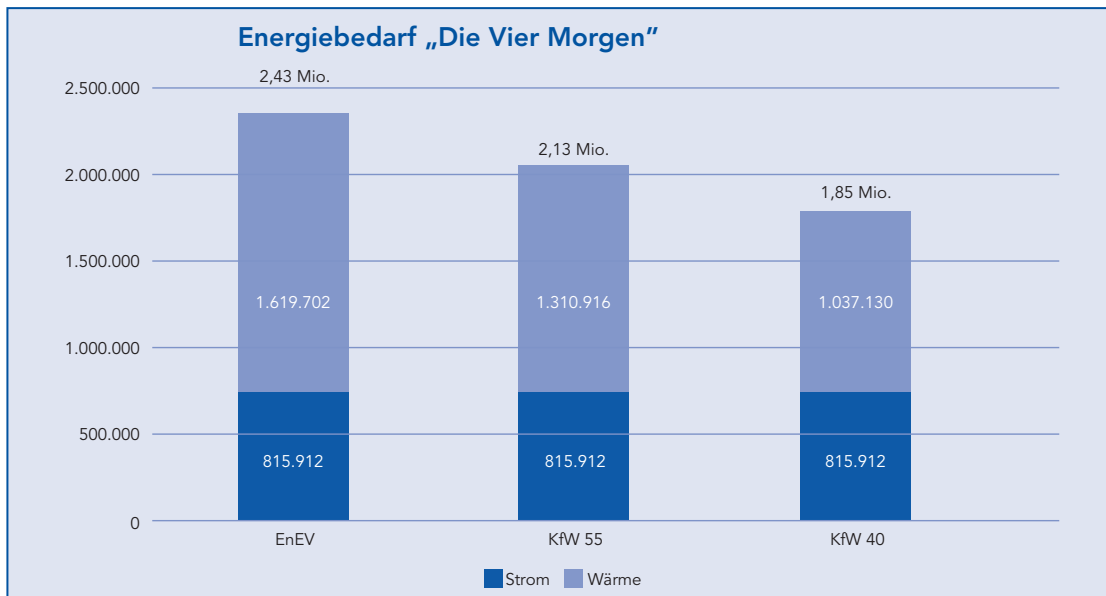


Abbildung 22: Gegenüberstellung des ermittelten Endenergiebedarfs für die berücksichtigten energetischen Standards

→ 3. Schritt: Energieversorgungskonzept

In einem weiteren Schritt wurden verschiedene Energieversorgungsvarianten ermittelt und gegenübergestellt. Die Kostenschätzung von dezentralen und zentralen Wärmeversorgungskonzepten erfolgte anhand von Literaturwerten, veröffentlichten Bezugspreisen und eigenen Annahmen.

Dezentral	Zentral	
	Nahwärmenetz	„kaltes Netz“
Erdgas-Brennwert-Heizung mit Solarthermie	Wärmeerzeuger Biomasse/Holz	Erdsondenfeld Geothermie
Luft-/Wasser-Wärmepumpe mit Umweltwärme	Wärmeerzeuger BHKW mit Spitzenkessel Biomethan	
Sole-/Wasser-Wärmepumpe mit Geothermie		

Abbildung 23: Untersuchte Energieversorgungsvarianten

→ 4. Schritt: Variantenvergleich

Abschließend wurde der aus verschiedenen Dämmvarianten resultierende Endenergiebedarf den ermittelten Potenzialen aus Erneuerbaren Energien gegenübergestellt und eine Handlungsempfehlung ausgesprochen.

ERKENNTNISSE:

Die Machbarkeitsstudie zeigt, dass der Plus-Energie-Standard im Neubaugebiet „Die vier Morgen“ wirtschaftlich realisierbar ist. Aufgrund der zum Zeitpunkt der Konzepterstellung geltenden Fördermittellandschaft wurde empfohlen, alle Gebäude nach KfW-55 Standard zu errichten und die gesamten Dachflächen im Plangebiet mit PV-Modulen zu bestücken.

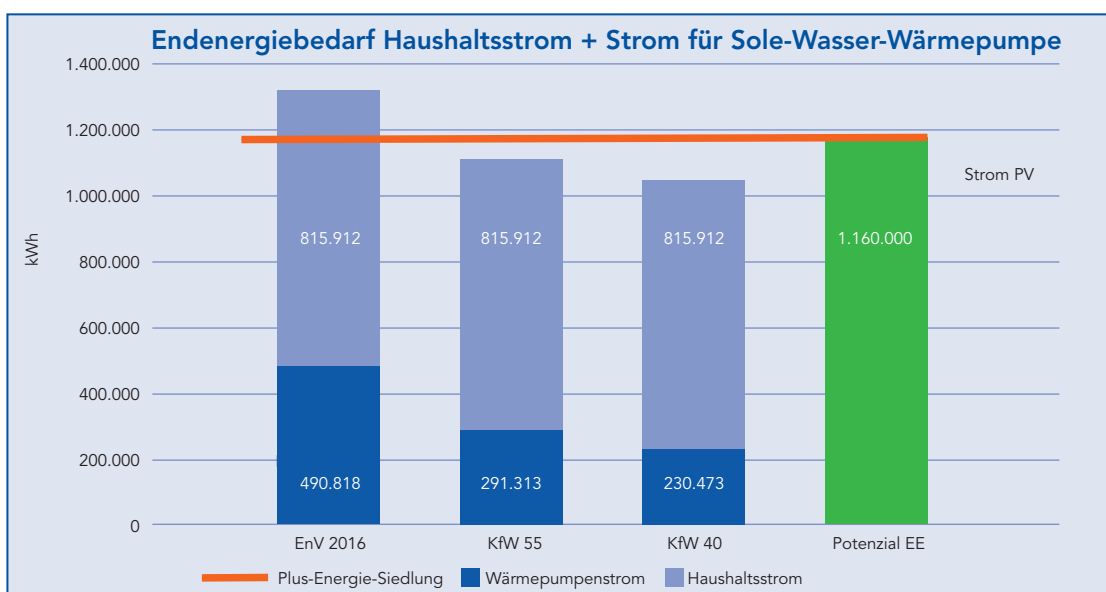


Abbildung 24: Auswertungsergebnisse der Machbarkeitsstudie

Zur Wärmeerzeugung wurde ein zentrales Erdsondenfeld in Verbindung mit einem Kalten Nahwärmenetz vorgeschlagen. 145 Sonden, mit einer Tiefe von 100 Metern und einem Abstand von 6 Metern zueinander, könnten auf einer Fläche von 4.500 Quadratmetern den gesamten Wärmebedarf des Neubaugebiets abdecken.

Abbildung 25:
Energieversorgungsvariante:
Kaltes Nahwärmenetz



6.2 BEISPIEL: BAD NAUHEIM – KALTE NAHWÄRME IM NEUBAUQUARTIER

In der hessischen Kommune Bad Nauheim entsteht aktuell ein Neubaugebiet mit innovativer Wärmeversorgung. Die Stadtwerke Bad Nauheim setzen hierbei mit oberflächennahester Geothermie auf Kalte Nahwärme. Dort entsteht der größte Erdwärmekollektor in Deutschland.

Für die Warmegewinnung wurde auf einer Fläche von 2 x 11.000 Quadratmetern ein doppelagiges Kollektorfeld in Tiefen von 1,5 und 3 Metern verlegt.

Die technische Anbindung von Kollektorfeld und Wohngebiet erfolgte durch ein Rohrnetz mit 13 Kilometern Gesamtlänge. In jedem angeschlossenen Gebäude wurden hocheffiziente Wärmepumpen installiert. Diese erhöhen die Vorlauftemperatur des Wärmeträgers von ca. 10 Grad auf die notwendige Warmwassertemperatur für Heizung und Brauchwasser von maximal 55 Grad. Die Größe des Wärmespeichers kann von Bauherr*innen individuell gewählt werden. Auf diese Weise werden über 400 Wohneinheiten klimaneutral mit Wärmeenergie versorgt. Die Kalte Nahwärme kann optional auch ohne Mehrkosten zum Kühlen genutzt werden. Die Raumtemperatur kann so um bis zu 5 Grad unter die jeweilige Außentemperatur abgekühlt werden.



Peter Drausnigg

Geschäftsführer

Stadtwerke
Bad Nauheim

www.stadtwerke-bad-nauheim.de



Abbildung 26: Das Kollektorfeld von oben

Das Nahwärmenetz verfügt über eine voll digitalisierte Energiezentrale. In ihr befinden sich die Netzpumpen und Ausdehnungsgefäße, die das Wasser-Glykol-Gemisch in Bewegung halten. Außerdem werden dort kontinuierlich Messdaten erfasst und ausgewertet, um das Gesamtsystem zu steuern und zu optimieren. Das klimaneutrale Versorgungskonzept ermöglicht es den Bauherr*innen bereits heute, die seit 2020 geltenden Vorgaben der Energieeinsparverordnung für Neubauten zu erfüllen.

GESCHÄFTSMODELL STADTWERKE BAD NAUHEIM

Im Rahmen eines WärmeContracting bieten die Stadtwerke den Bauherr*innen ein Rundum-sorglos-Paket an. Dieses umfasst die Montage, den Betrieb und die Wartung sowie eventuelle Reparaturen der Wärmepumpen. Die Kund*innen zahlen nur den reinen Wärmepreis (ohne Grundgebühr), während der Vertragslaufzeit entstehen keinerlei weitere Kosten. Für die abgenommene Wärme besteht bis Ende 2025 eine Preisgarantie, und im Anschlusspaket ist bereits ein kostenloser Glasfaseranschluss enthalten. Einen Anschlusszwang für die Bauherr*innen besteht nicht, was zu Folge hat, dass sich die Lösung auf dem Markt gegen andere Beheizungs-lösungen im Wettbewerb stehen.



Abbildung 27: Blick in die Energiezentrale

FAZIT

Die Stadtwerke Bad Nauheim bieten mit ihrem Kalten Nahwärmenetz eine wirtschaftliche und ressourcenschonende Wärmeversorgung inklusive Naturkühlung an. Das freiwillige Angebot wird mit einer Anschlussquote von etwa 90 Prozent sehr gut angenommen und trägt positiv zum Nachhaltigkeitsimage der Stadtwerke bei. Aufgrund des fehlenden Anschlusszwangs besteht ein hoher Marketing-, Vertriebs- und Beratungsaufwand. Dieser wird jedoch mit hoher Kundenbindung belohnt.

6.3 BEISPIEL: FRANKFURT – QUARTIER AM HENNINGER TURM

Dr. Markus Kübert

Geschäftsführer

tewag GmbH

www.tewag.de



Das Neubauquartier Stadtgärten in Frankfurt befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Henninger Turm auf dem Sachsenhäuser Berg. Insgesamt versorgen 260 Erdwärmesonden (mit einer Tiefe von jeweils 100 Metern) die ca. 700 Wohnungen des neuen Wohnquartiers mit Wärme und Kälte.

Die energetische Versorgung im Quartier am Henninger Turm baut auf einem bivalenten Anlagenkonzept auf. Die Heizzentrale verfügt über eine 600 Kilowatt Wärmepumpenkaskade, ein BHKW sowie einen Gasspitzenlastkessel. Zur Verteilung der Wärme kommen ein Hoch- und ein Niedertemperaturnetz zum Einsatz. Ersteres dient der Warmwasserbereitung. Letzteres verteilt im Winter Wärme und ermöglicht im Sommer eine passive Klimatisierung der Gebäude.

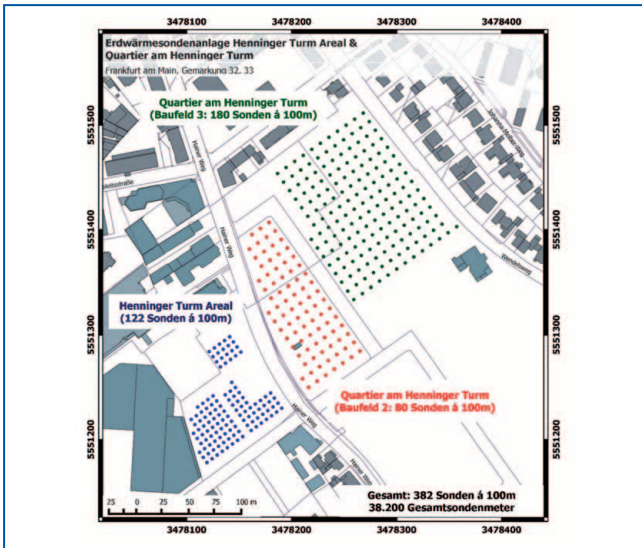


Abbildung 28: Sondenfelder im Quartier Henninger Turm

Im Quartier verfügt jedes Wohngebäude über sogenannte Unterzentralen. Dort werden größere Mengen an Wärme mithilfe von Pufferspeichern gesammelt und schließlich an die einzelnen Wohnungsstationen verteilt. Über integrierte Heizkreise werden Wärme, beziehungsweise Kälte über Fußbodenheizungen in die Wohnungen abgegeben. Die hygienische Trinkwasserversorgung wird über Frischwasserstationen in jeder Wohnung gewährleistet.

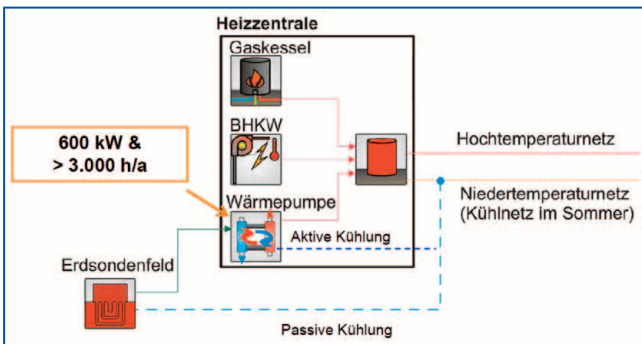


Abbildung 29: Anlagenkonzept für das Quartier Henninger Turm

EXKURS PASSIVE UND AKTIVE KÜHLUNG

Im Quartier am Henninger Turm wird in den wärmeren Monaten ein Teil der Klimatisierung durch passive Kühlung realisiert. Das passive Kühlpotenzial des Erdsondenfeldes steigt im Kühlfall mit der gebäudeseitigen Vorlauftemperatur an. Umgekehrt sinkt mit abnehmender Vorlauftemperatur der Anteil passiver Kühlung an der Jahreskühlarbeit. Durch die Wärmerückführung im Kühlbetrieb steigt kontinuierlich die Temperatur im Wärmeträgermedium (Sole) an. Die aktive Kühlung durch reversible Wärmepumpen setzt schließlich ein, sobald die gebäudeseitige Vorlauftemperatur im Wärmeträgermedium überschritten wird.

INTERVIEW MIT DR. MARKUS KÜBERT:

Die Geothermie-Anlage am Henninger-Turm ist jetzt seit einem Jahr in Betrieb. Hat alles nach Plan funktioniert?

„Grundsätzlich ja. Selbstverständlich sind immer noch Feinabstimmungen in der Regelung und Betriebsführung notwendig. Das ist hier gut möglich, da in der gesamten Anlage eine Messtechnik installiert ist, die uns gute Daten über alle Betriebszustände liefert.“

Das Erdsondenfeld wird bei Ihrem Energiekonzept sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet. Ist das nicht eine wichtige Anwendung, die in Zeiten der Erderwärmung immer mehr an Bedeutung gewinnen wird?

„Ja, in der Tat. Die Kühlung von Gebäuden wird in Zukunft immer wichtiger werden. Oberflächennahe Geothermie und deren Nutzung durch Wärmepumpen hat den Vorteil, dass am Ende der Heizperiode die Temperatur im Sondenfeld deutlich unter der Temperatur liegt, die sich im ungestörten Erdreich einstellt. Diese niedrigen Temperaturen werden genutzt, um den Gebäudekörper zu kühlen.“

Heißt das, dass damit das Sondenfeld aktiv aufgeheizt wird und dann auch im Winter eventuell mehr Wärme zur Verfügung steht?

„Ja, das ist so. Außerdem kann damit die Anzahl der Sonden deutlich reduziert werden, da durch die aktive Regeneration des Erdreichs im Sommer weniger Sonden notwendig sind, um im Winter die benötigte Energie zur Verfügung zu stellen.“

Aber hat denn das Erwärmen des Erdreichs nicht auch Nachteile?

„Wir achten im Betrieb darauf, dass nicht mehr Wärme in den Untergrund eingespeist wird, als auch entnommen wird. Das ist auch eine Auflage bei der Genehmigung zum Bau des Erdsondenfeldes. Das ist wichtig, da durch den Wärmeeintrag die langfristige Temperatur des Grundwassers nicht erhöht werden darf. Durch die verwendete Messtechnik wird eine ausgeglichene Energiebilanz gewährleistet.“

Herzlichen Dank für das Interview, Herr Dr. Kübert.

7. NUTZUNG VON GEOTHERMIE IM BESTAND

Danny Günther

Fraunhofer ISE

Themenfeld:
Wärmepumpen

www.ise.fraunhofer.de



che und konnten zum Teil die erforderlichen Temperaturen im Heizsystem (Vorlauftemperatur) nicht erreichen.

Mittlerweile hat sich die Wärmepumpentechnik weiterentwickelt. Und auch das Verständnis dafür, unter welchen Bedingungen eine Wärmepumpe auch in Bestandsgebäuden ökologisch und ökonomisch gut eingesetzt werden kann.

Am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg arbeiten Forscher*innen seit über 15 Jahren zum Thema Wärmepumpe. Neben der Verbesserung der Wärmepumpentechnik steht die Auswertung von praktisch realisierten Anlagen im Langzeitbetrieb im Mittelpunkt. Im aktuellen Forschungsvorhaben „WPsmart im Bestand“ wurden von Juli 2018 bis Juni 2019 56 Wärmepumpen messtechnisch untersucht, wovon 41 Objekte vergleichend ausgewertet werden konnten. Von diesen waren 29 Gebäude mit Außenluft-Wärmepumpen und 12 mit Erdreich-Wärmepumpen (Erdwärmesonden) ausgestattet.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden hier in kompakter Form dargestellt. Der ausführliche Bericht kann direkt von der Projektwebsite des Fraunhofer ISE unter folgender Adresse heruntergeladen werden:

<https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/>

WÄRMEPUMPE UND ALTBAU – DAS VERTRÄGT SICH DOCH GAR NICHT!

Das ist gängige Meinung. Sie geht zum Teil noch auf Erfahrungen mit Wärmepumpen aus der Zeit der ersten Ölkrise im Jahr 1973 zurück. Damals wurden in vielen Fällen und ohne große Detailplanungen Ölheizungen gegen Luft-Wärmepumpen ausgetauscht. In ungedämmten Gebäuden und bei Heizungssystemen mit hohen Vorlauftemperaturen arbeiteten diese Systeme aber ziemlich ineffizient. Sie hatten hohe Stromverbrä-

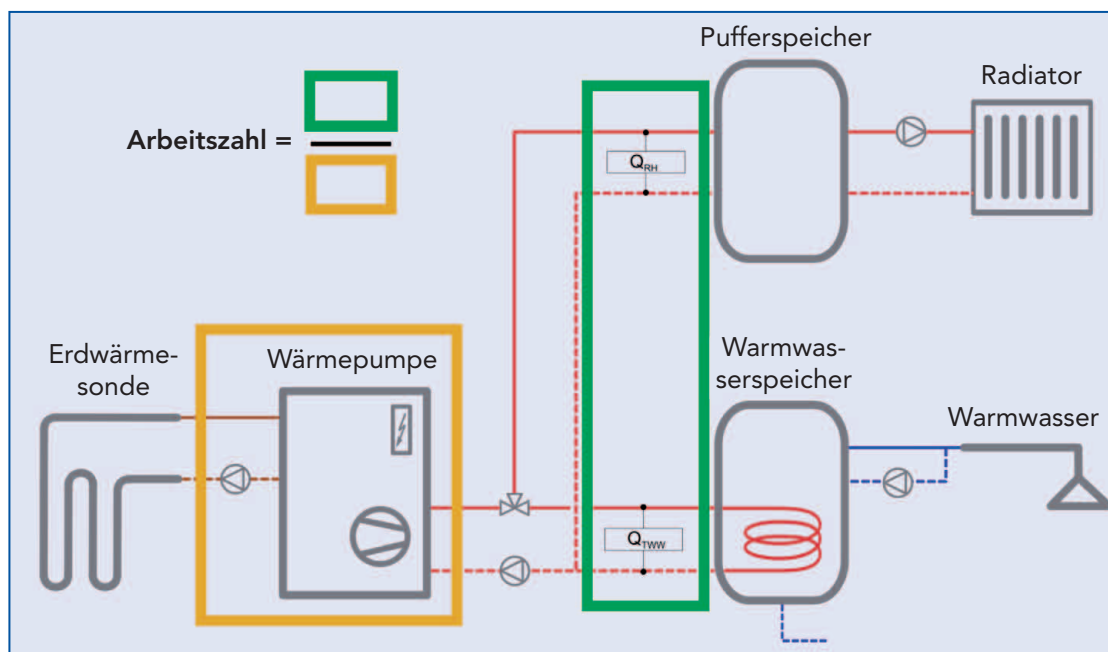


Abbildung 30: Verfahren zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl bei den untersuchten Objekten (Quelle: Fraunhofer ISE)

VORAB NOCH EINIGE ERLÄUTERUNGEN:

Entscheidend ist bei der Bewertung der Effizienz von Wärmepumpen das Verhältnis von aufgewendeter Antriebsenergie (Strom) zur abgegebenen Wärme. Um die verschiedenen Heizsysteme gut vergleichen zu können, wurde bei dem Feldtest die an den Warmwasserspeicher und/oder das Heizungssystem abgegebene Wärme gemessen und ins Verhältnis zum Stromverbrauch für den Betrieb der Wärmepumpe gesetzt. In Abbildung 30 wird das Vorgehen schematisch dargestellt.

Die erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen wurden in drei Fällen durch Solarthermieanlagen zur Trinkwassererwärmung unterstützt, während etwa 20 Prozent der untersuchten Luft-Wärmepumpenanlagen mit einem zusätzlichen Öl- oder Gaskessel zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung ausgestattet waren. Unabhängig vom Wärmequellentyp wurden in einigen Häusern auch Öfen betrieben, deren Deckungsbeiträge sehr unterschiedlich ausfielen.

Die Gebäude, die vor 1979 gebaut wurden, waren meist teilsaniert, bspw. wurden neue Fenster eingebaut oder auch einige Teile der Außenhülle gedämmt. Alle Gebäude, die nach 1979 erbaut wurden, waren in einem unsanierten Zustand. Im Mittel lag der durchschnittliche Heizwärmebedarf bei 110 kWh/m²a. Allerdings schwankte dieser Wert zwischen 48 und 233 kWh/m²a. Nicht nur dadurch ergibt sich ein relativ breiter Anwendungsbereich, für den die Jahresarbeitszahlen ermittelt wurden. Abbildung 31 zeigt die Ergebnisse in Kompakter Form.

Eindeutig zu erkennen: die mittlere Jahresarbeitszahl beträgt 3,1 bei Luft-Wärmepumpen und 4,1 bei den untersuchten Geothermie-Systemen. Die Bandbreiten pro Wärmequelle spiegeln die vielen Effizienzeinflüsse, wie bspw. die Norm-Leistungszahlen der Wärmepumpen, die erforderlichen Temperaturen zur Raumheizung oder den energetischen Anteil zur Trinkwassererwärmung, wider.

DREI FRAGEN AN DANNY GÜNTHER, LEITER DER AKTUELLEN STUDIE:

Entgegen der Annahme, dass der Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden weder wirtschaftlich noch ökonomisch interessant sei, zeigen die Ergebnisse Ihrer Studie auf, dass auch in Bestandsgebäuden Wärmepumpen effektiv arbeiten können. Worauf führen Sie das zurück?

„Grundsätzlich arbeiten Wärmepumpen dann besonders effizient, wenn der Temperaturunterschied zwischen der Wärmequelle (z. B. Erdwärmesonde) und der notwendigen Temperatur zur Raumheizung möglichst gering ist. Letztere ist abhängig von der Heizlast des Gebäudes und Art sowie Dimensionierung der Wärmeübergabesysteme, also der Heizkörper oder Flächenheizungen. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wärmeübergabesysteme bereits „zu groß“ ausgelegt gewesen sein können oder diese durch nachträgliche Erweiterung oder Verringerung der Gebäudeheizlast – bspw. mit neuen Fenstern – mit geringeren Temperaturen betrieben werden können. Früher wurden zum Teil Temperaturen jenseits der 80 Grad angesetzt. Die tatsächlichen Temperaturen können deutlich darunter liegen.“

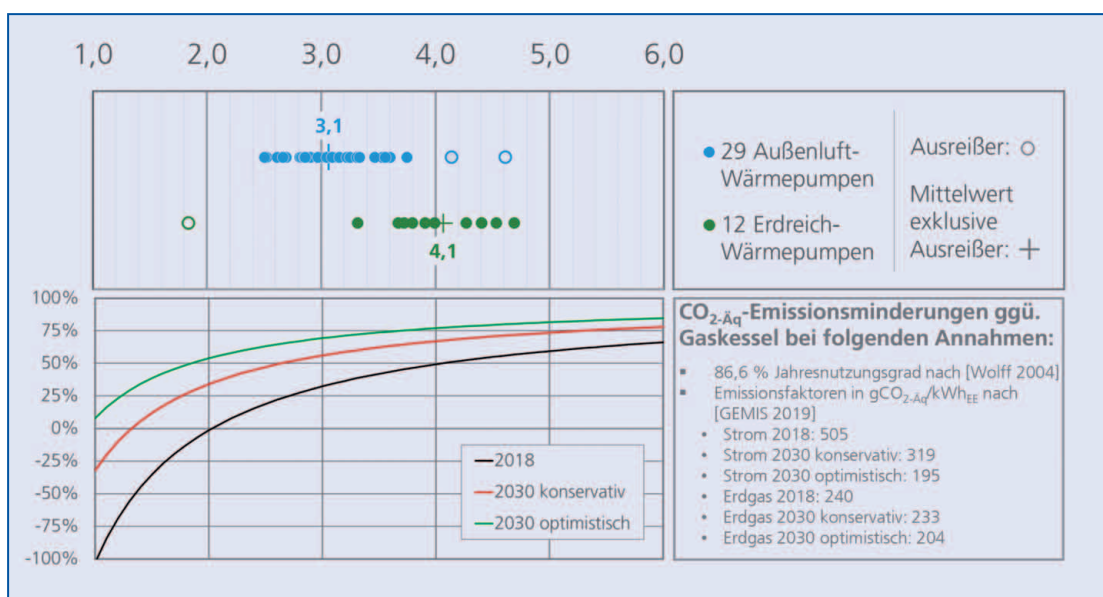


Abbildung 31: Verteilung der Jahresarbeitszahlen über alle untersuchten Heizsysteme (Quelle: Fraunhofer ISE)

Dadurch können auch im Bestand Wärmepumpen effizient eingesetzt werden.“

Aber wie sieht es denn mit der CO₂-Bilanz durch den Stromeinsatz aus?

„Zur CO₂-Bilanz: Der CO₂-Rucksack von 1 kWh Strom aus dem bundesdeutschen Kraftwerksmix hat sich in den vergangenen Jahren bundesweit reduziert, von 679 g CO₂/kWh (2000) auf ca. 505g CO₂/kWh (2018). Wenn bei effizienten Wärmepumpensystemen aus 1 kWh Strom 4 kWh Wärme entstehen, beträgt die CO₂-Belastung für diese Wärme circa 125 g CO₂/kWh. Bei einer Wärmeerzeugung aus Erdgas entsteht in etwa die doppelte Menge CO₂. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch den Ausstieg aus der Kohleverstromung die CO₂-Kennwerte des bundesdeutschen Strommixes weiter sinken werden. Eine noch bessere CO₂-Bilanz ergibt sich, wenn direkt Ökostrom zum Betrieb der Wärmepumpe genutzt wird.“

Ist Strom zum Heizen denn nicht viel zu wertvoll?

„Zur Wertigkeit von elektrischem Strom: Ja, Strom ist eine wertvolle Energie, die für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden kann. Er kann aber auch in großem Maßstab durch Erneuerbare Energien aus Sonne und Wind ohne Verbrennungsprozesse bei minimalen CO₂-Emissionen erzeugt werden. Daher ist aus meiner Sicht der Einsatz von Strom zur Nutzbarmachung von Umweltenergie auf jeden Fall gerechtfertigt und ein wich-

tiger Faktor auf dem Weg zu einer klimaneutralen Energieversorgung, auch im Wärmebereich. Wärmepumpen können aber auch das Stromnetz entlasten, da sie durch die Speichermassen im Gebäude sowie der Anlage selbst bei knappem Stromangebot im Netz für gewisse Zeiträume abgeschaltet werden können, ohne dass sich die Raumtemperatur merklich ändert. Dazu bieten viele Stromversorger spezielle Wärmepumpentarife an. Der Strompreis ist dann günstiger als der Normaltarif, allerdings hat der Netzbetreiber dann die Möglichkeit, zum Beispiel drei mal zwei Stunden pro Tag, die Versorgung zu unterbrechen.“

Was sollte aus Ihrer Sicht geschehen, damit der Ersatz von fossilen Heizsystemen durch Wärmepumpen im Bestand beschleunigt wird?“

„Zuerst benötigen wir eine breite Beratungsinitiative, bspw. durch großzügig geförderte Beratungen gemäß des individuellen Sanierungsfahrplanes (iSFP), in der Gebäude und Anlage als Einheit betrachtet werden. Neben dieser fundierten Bestandsaufnahme sind eine sorgfältige Planung und Ausführung des Systems notwendig. Wichtig ist auch, dass nach der Inbetriebnahme des Systems der ordnungsgemäße Betrieb regelmäßig überprüft wird. Das Thema Qualitätssicherung ist das Thema der nächsten Studie WP-QS im Bestand, die wir bis Ende 2022 abschließen wollen.“

Herzlichen Dank für das Gespräch und viel Erfolg für Ihre weitere interessante Forschungsarbeit!



7.1 ERFAHRUNGEN AM EIGENEN HAUS – FAMILIE MITNEHMEN

Dr. Erich Mands ist der Inhaber des Planungsbüros UBeG in der Nähe von Wetzlar. Als Geothermie-Planer ist es quasi ein „Muss“, auch selbst Geothermie zu nutzen. So entstand das Vorhaben, die Gasheizung im eigenen Haus durch eine Geothermie-Anlage zu ersetzen.

Der Ablauf von der Idee bis zur Realisierung wird im Folgenden skizziert. Angetrieben wurde das Vorhaben durch folgende Überlegungen:

- ▶ deutlich bessere Energieeffizienz und Emissionsbilanz
- ▶ keine sichtbaren Anlagenteile im Außenbereich
- ▶ keine Geräusche durch außenliegende Wärmetauscher (besonders vorteilhaft bei historischen Gebäuden)
- ▶ Kühlung des Gebäudes zum „Nulltarif“ möglich
- ▶ mittel- bis langfristig wirtschaftlich



Dr. Erich Mands

Geschäftsführer

UBeG GbR

www.ubeg.de

DIE UMSETZUNG:

Stufe 1: Überzeugungsarbeit in der Familie leisten, dass der Garten neugestaltet werden sollte.

Stufe 2: Andeuten, dass man dann ja auch gleichzeitig Erdwärmebohrungen ausführen kann.



Abbildung 32: Erschließung von Erdwärme im Vorgarten eines Mehrfamilienhauses

Stufe 3: In der kalten Jahreszeit alle Heizkörper aufdrehen und die Vorlauftemperatur täglich etwas absenken. Beschwerden der Familie registrieren und auswerten.

Stufe 4: Temperatur langsam wieder anheben, bis die Mehrzahl der Zimmer ausreichend warm ist und die Beschwerden enden.

Stufe 5: Heizkörper in den Bädern und zwei weiteren Räumen von 1-lagig auf 3-lagig austauschen, damit auch bei niedrigen Vorlauftemperaturen noch genügend Wärme abgegeben wird.

→ **Ergebnis:** Eine Vorlauftemperatur von 45 bis 50 Grad ist ausreichend, um die Behaglichkeit aller Familienmitglieder zu gewährleisten.

Stufe 6: Bestimmung der tatsächlich benötigten Leistung: Berechnung des Wärmeverlusts über die Außenhülle des Gebäudes.

→ **Ergebnis:** 14 kW sind ausreichend.

Stufe 7: Ziel bei der Bohrung: möglichst mit einer Bohrung, die mit reinem Wasser als Wärmeträger genutzt werden kann, auszukommen.

→ **Ergebnis:** Eine Bohrung von 300 Metern Tiefe wird benötigt.

Stufe 8: Beantragung Wasserecht und Bergrecht

→ **Ergebnis:** Genehmigung erhalten und Bohrunternehmen bestellt.

Stufe 9: Die Familie moralisch auf die Arbeiten der kommenden Tage einstellen.



Abbildung 33: Nahaufnahme vom Bohrkopf

ERFAHRUNG MIT DEM EIGENEN GEBÄUDE:

- ▶ Die Wärmepumpe ist seit zwölf Jahren in Betrieb, wurde bislang einmal gewartet und hatte noch keinen Defekt.
- ▶ Mittlerer Wärmeenergieverbrauch zwischen 2015 und 2020: 30 MWh pro Jahr.
- ▶ Temperaturen in der Erdwärmesonde nie kälter als 6 Grad.
- ▶ Vorlauftemperatur im Haus nie wärmer als 50 Grad.
- ▶ Die Jahresarbeitszahl (JAZ) beträgt etwa 4,1.
- ▶ Im Zeitraum von 2008 – 2020 wurden circa 45 Tonnen CO₂ eingespart.
- ▶ Hohe Zufriedenheit innerhalb der ganzen Familie.



Abb. 34: Geothermie-Bohrgerät im Einsatz

8.2 BEISPIEL: WÄRMEPUMPE IM ALTBAU – AUF DIE DETAILS KOMMT ES AN

Clemens Lehr engagiert sich seit vielen Jahren für die Geothermie. Er ist Geschäftsführer des Geotechnischen Umweltbüros Lehr in Bad Nauheim.

Durch seine langjährigen Erfahrungen ist ihm immer wieder bewusst geworden, dass es besonders bei Bestandsgebäuden einen großen Unterschied zwischen dem berechneten Energiebedarf und dem tatsächlichen Energieverbrauch gibt.

Das hat auch der dena-Gebäudereport ausgewiesen, wie die folgende Abbildung zeigt:



Clemens Lehr

Geschäftsführer

Geotechnisches
Umweltbüro Lehr

www.geotechnik-lehr.de

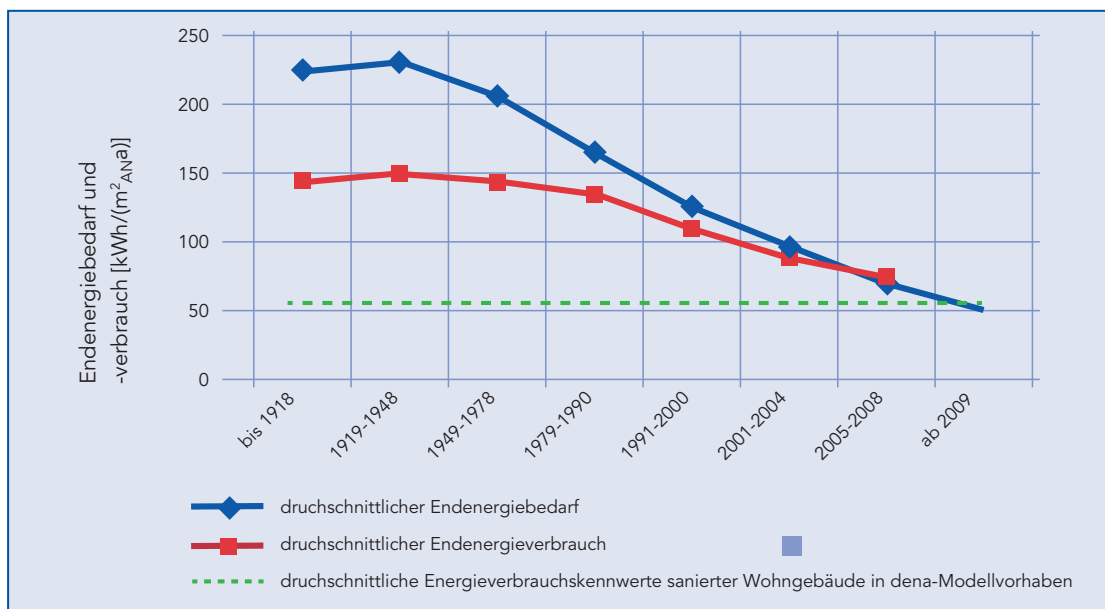


Abbildung 35:
Durchschnittlicher
Endenergiebedarf
und -verbrauch nach
Baualter (DENA
2016)

Daher gilt es nicht nur bei Bestandsgebäuden für die Wohnnutzung, sondern auch für alle anderen Anwendungen genau hinzusehen, welche Temperaturen tatsächlich benötigt werden und wie die Nutzung von Geothermie auch mit weiteren Heizsystemen kombiniert werden kann. Dazu zwei Beispiele:



Abbildung 36: Stadthalle Marburg

Stadthalle Marburg

Die Wärmeversorgung des gesamten Komplexes erfolgt nach energetischer Sanierung über acht Erdwärmesonden mit einer Einbautiefe von jeweils 200 Metern. Ergänzt wird das Heizsystem durch einen Spitzenlastkessel, der mit Gas betrieben wird. Die 90 kW Wärmepumpe deckt in dieser Kombination etwa 95 Prozent des jährlichen Wärmebedarfs ab. Nur an besonders kalten Tagen kommt zusätzlich der Gaskessel zum Einsatz.

Die Grundlastdeckung mit Geothermie ist in vielen Projekten eine wirtschaftliche Variante, da die Deckung der nur kurzzeitig benötigten Leistungsspitzen zu einer un-



Abbildung 37: Erdproben aus verschiedenen Entnahmetiefen

verhältnismäßigen Erhöhung der Bohrmeter führen würde. Zudem ist eine geothermische Anlage besonders effizient, wenn die Betriebsweise zu einem gleichmäßigen und langen Entzug der geothermischen Energie genutzt wird. Für Leistungsspitzen und damit kurzzeitige dynamische Lasten, ist ein geothermisches System weniger geeignet. Erst das abgestimmte Zusammenspiel von Untergrundverhalten, Gebäude-lastprofil, Wärmepumpe und Hydraulik des geothermischen Wärmeträgerfluids, führt zur höchstmöglichen Effizienz der Wärmeversorgungsanlage. Im vorliegenden Fall wird das geothermische System ebenfalls genutzt, um im Sommer Wärme aus dem Gebäude in den Untergrund zurückzuführen.

Eine geothermische Anlage liefert die Kühloption ohne nennenswerte Mehrkosten mit. Die zurückgespeicherte Wärme regeneriert die Sondenanlage zusätzlich und steht im Winter wieder für Heizzwecke zur Verfügung. Die geothermische Anlage wird als Pendelspeicher betrieben. Diese sommerliche Regeneration führt in vielen Fällen zu einer Verminderung der benötigten Bohrmeter und ist somit doppelt effizient. Zum einen reduzieren sich durch diese Betriebsweise die Investitionskosten, zum anderen erhöht sich die Untergrundtemperatur zum Heizbeginn und erhöht damit die Jahresarbeitszahl. Der einzig limitierende Faktor für den Kühlbetrieb ist, dass die Menge der eingespeisten Energie nicht über der winterlich entzogenen Energie liegen darf. Dies ist wichtig, um eine Erwärmung des Untergrunds und damit eine Auswirkung auf das Grundwasser zu vermeiden.

Auf dem Dach des Gebäudes wurde eine PV-Anlage installiert, die auch in Übergangszeiten einen Teil des Strombedarfs der Wärmepumpe deckt.



Abbildung 38: Blick in den Technikraum einer Wärmepumpenheizung

WOHNHAUS AUS DEN 1970ER JAHREN (FERTIGHAUS)

Die Ölheizung wurde hier durch eine Geothermieanlage ersetzt. Dabei erfolgt die Steuerung der Vorlaufauftemperatur ausschließlich über die Außentemperatur. Nach einem sorgfältigen hydraulischen Abgleich konnte das komplette Regelsystem so eingestellt werden, dass auf Thermostate an den Heizkörpern verzichtet werden konnte. Dadurch können optimale Vorlauftemperaturen erreicht werden. Thermostate können die Vorlauftemperatur lediglich absenken. Dies führt zu einem erhöhten Energieaufwand bei der Wärmepumpe, denn es wird eine höhere Temperatur bereitgestellt, als tatsächlich im Heizkörper benötigt wird.

Die Wohnfläche von 240 m² und der Warmwasserbedarf werden mit einer drehzahlregulierten 16 kW Wärmepumpe gedeckt. Hierbei moduliert die Wärmepumpe zwischen 4 kW und 16 kW, sodass jeweils nur die tatsächlich benötigte Leistung generiert wird. Diese Betriebsweise passt ideal zu einer geothermischen Anlage und führt zu einem gleichmäßigen und langsamen Entzug aus der 2 x 100 m tiefen Sondenanlage. Selbstlernende Umwälzpumpen erfassen das Nutzerprofil und unterbinden eine ständige Zirkulation im Warmwasserkreis. Somit werden auch die sekundären Stromverbräuche möglichst gering gehalten. Durch die dem Gebäude angepasste Betriebsweise wird mit den Bestandsradiatoren – ohne energetische Sanierung der Gebäudehülle – eine Jahresarbeitszahl von 3,8 erreicht.

8. HESSEN BAUT AUF GEOTHERMIE

Auch im Untergrund von Hessen schlummern große Potenziale für die Wärmewende. Diese gilt es in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu nutzen. Die oberflächennahe Geothermie bietet attraktive Möglichkeiten für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen zur Gebäudeheizung und interessante Möglichkeiten der passiven oder aktiven Gebäudekühlung. Die Gebäudekühlung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Es kann uns mittels Einsatz der Geothermie auch gelingen, den massiven Zubau von elektrischen Klimageräten zu verhindern, wenn bei der Gebäudeplanung auch die sommerliche Hitze besser berücksichtigt wird. Die tiefe Geothermie bietet besonders in Südhessen gute Potenziale für die Wärmeversorgung von Nah- und Fernwärmenetzen und lokal auch für die geothermische Stromerzeugung.

Auch die Speicherung von Wärmeüberschüssen im Sommer, bspw. aus Solarthermie oder Industrieprozessen, ist eine interessante Zukunftstechnologie, da diese saisonale Wärmespeicherung im Winter genutzt werden kann.

Durch gemeinsame Anstrengungen sollen diese Potenziale in den nächsten Jahren stärker ins Bewusstsein gerückt und erschlossen werden. Dazu gehören:

- ▶ Bereitstellung von guten Planungsgrundlagen durch webbasierte Informationssysteme
- ▶ Durchführung von Erkundungsbohrungen in ausgewählten Neubaugebieten
- ▶ Evaluierung der Genehmigungs- und Prüfungsverfahren, um Optimierungsmöglichkeiten zu ermitteln
- ▶ Förderung von Forschung und Entwicklung für Leuchtturmprojekte

Carola Carius

Sachbearbeiterin
im Referat I6
Energiepolitik

Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen
(HMWEVW)

<https://wirtschaft.hessen.de/>



Im hessischen Wirtschaftsministerium setzt sich Carola Carius für die stärkere Nutzung der Geothermie ein.

Frau Carius: Warum ist Geothermie für die zukünftige Energieversorgung in Hessen so wichtig?

„In der Wärmewende sind wir, anders als beim erneuerbarem Strom, noch weit von unseren Klimaschutzzielen entfernt. Die Nutzung der Sonnenenergie im Wärmebereich ist – bedingt durch unsere klimatischen Verhältnisse – nur sehr begrenzt möglich. Anders bei der Geothermie, die rund um die Uhr verfügbar ist und in der Regel durch geringen Einsatz von Strom meistens nutzbar gemacht werden kann.“

Die Substitution fossiler Energieträger durch Erneuerbare Energien ist ein notwendiger Schritt hin zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Wie die Referent*innen im Faktencheck Geothermie gezeigt haben, können hiermit bei Neubauten sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Aber auch in Bestandsbauten bieten sich bereits interessante Einsatzmöglichkeiten an, die es unbedingt verdienen, beachtet zu werden.“

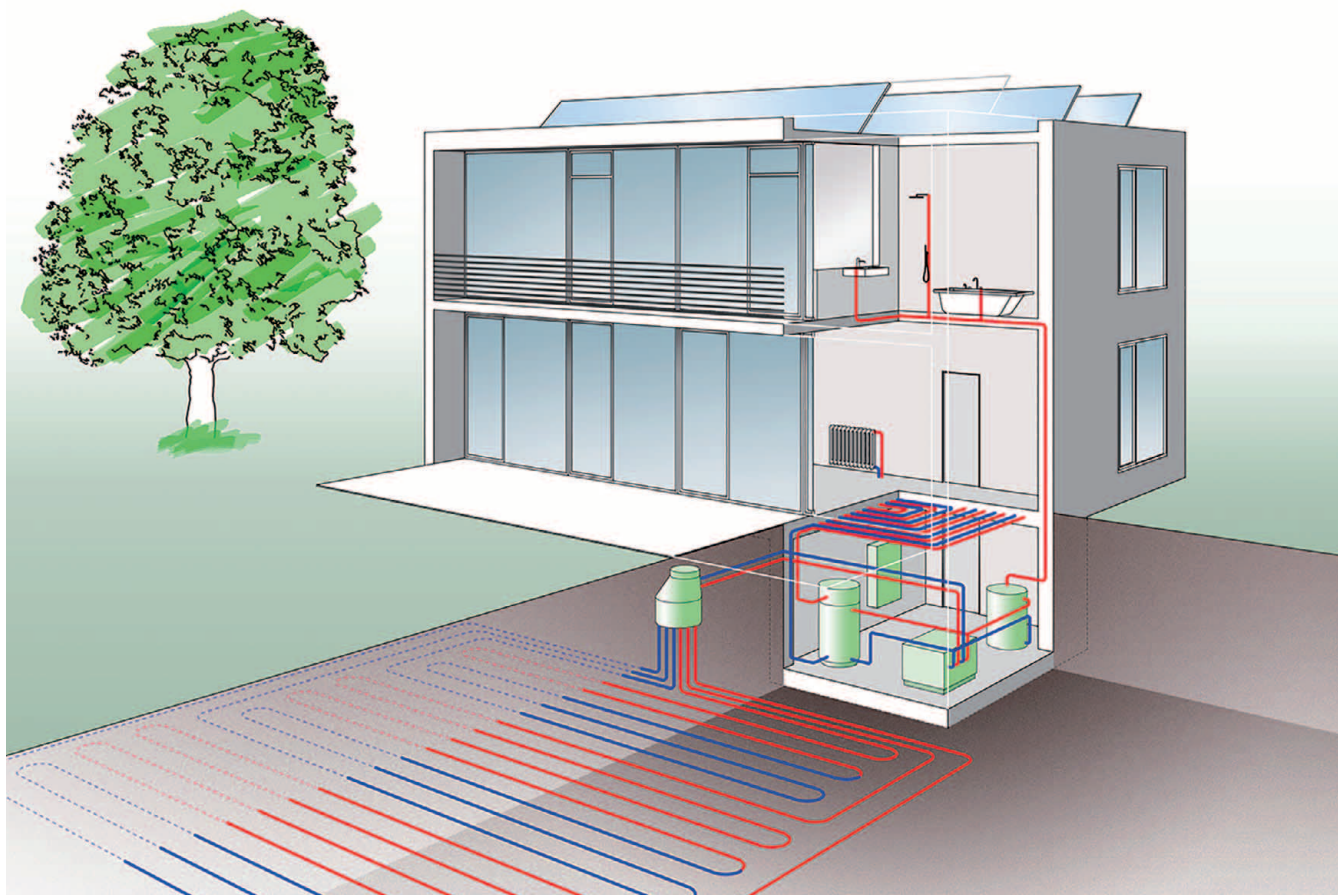
Wie kann es gelingen, dass geothermische Anlagen nicht nur die Ausnahme, sondern eher die Regel bei der Umsetzung von Baumaßnahmen werden?

„Nach meiner Meinung kann dies nur gelingen, wenn die Rahmenbedingungen für Planung, Bau und den Betrieb von Geothermieanlagen durch alle Beteiligten verbessert werden. Dazu gehört neben der Optimierung der Zulassungsverfahren auch die Bereitstellung einer guten Datengrundlage für Planer*innen und ausführende Unternehmen. Auch eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit mit vielen Praxisbeispielen trägt dazu bei, das Thema Geothermie stärker ins Bewusstsein bei Planer*innen und Bauherr*innen zu rücken. Hilfreich für einen deutlichen Anstieg der Nutzung von Geothermie würde eine Qualifizierungsoffensive bei den Handwerker*innen im Heizungsbau in Richtung Wärmepumpentechnik und Bau von geothermisch gestützten Anlagen sein. Auch die Bereitstellung günstiger Stromtarife für Wärmepumpen würde helfen. Im aktuellen Jahr gibt es sehr attraktive Förderoptionen bei BAFA und KfW, Beratung dazu bietet unsere LandesEnergieAgentur kostenlos und unabhängig an.“

Welche Maßnahmen sind denn konkret geplant?

„Das Informationssystem „Geothermie-Viewer“ wird ständig erweitert. Durch eine geänderte Gesetzeslage kann das HLNUG seit Mitte 2020 auf deutlich mehr historische Bohrdaten zurückgreifen. Diese Daten können von den Planer*innen als Grundlage für die Dimensionierung neuer Geothermieanlagen genutzt werden. Weiterhin führen wir in den Jahren 2021 und 2022 in 17 geplanten Neubaugebieten in Hessen weitere Forschungsbohrungen durch. Hierfür werden Erdwärmesonden mit einer Tiefe von 100 Metern in den Boden eingebracht, um Parameter rund um das geothermische Potential im Erdreich zu ermitteln.“

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich an den jeweiligen Standorten hervorragend für die Auslegung von geothermisch gestützten Gebäudeheizungen und Kühlsystemen nutzen. Bei allen diesen Aktivitäten arbeiten wir Hand in Hand mit dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) und mit der LandesEnergieAgentur (LEA). Aufgrund ihrer verschiedenen Angebote verfügt die LEA über viele Mög-





lichkeiten, das Thema „Geothermie“ in allen hessischen Kommunen stärker ins Bewusstsein zu rücken. Zum Beispiel mit dem Projekt „Hessen aktiv: Die Klimakommunen“.

Eine wichtige Rolle für die Beschleunigung des Ausbaus der Geothermie in Hessen spielt aus unserer Sicht das Hessische Kompetenznetzwerk Geothermie, das aus engagierten Geothermie-Experten besteht und viele wichtige Impulse für unsere Aktivitäten gegeben hat. Für dieses starke Engagement möchte ich mich an dieser Stelle sehr bedanken.

Schließlich sei das Rechtsgutachten Geothermie genannt, das zurzeit für uns in Bearbeitung ist. Es hat zum Ziel, Beschleunigungs- und Verschlinkungsoptionen im Genehmigungsverfahren aufzuzeigen.“

Was können denn Gebäudebesitzer*innen konkret tun, um sich umfassend zu informieren und eine Anlage umzusetzen?

„Das Hessische Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (HLNUG) hat umfangreiche digitale Kar-

ten mit dem Geothermie-Viewer und Informationsschriften zur Verfügung gestellt, die eine Einschätzung zur Eignung eines Standortes und die aktuellen planungsrechtlichen Rahmenbedingungen für Geothermieanlagen transparent machen. Beispielhaft sei neben dem Geothermie-Viewer der Leitfaden Erdwärmennutzung oder die Steckbriefe Oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesonden genannt.“

Wo gibt es Informationen und Unterstützung?

„Wenn ein Projekt konkret geplant und dimensioniert werden soll, beauftragt man am besten ein erfahrenes Unternehmen (Bohrfirma/Planungsbüro), das auch Genehmigungsanträge vorbereitet, die Baubegleitung der Anlage übernimmt und für eine sorgfältige Abnahme und Inbetriebnahme der Anlage Sorge trägt.

Zu Fragen rund um das Thema Fördermittel hilft die Fördermittelberatung der LandesEnergieAgentur gerne weiter.“

Herzlichen Dank für das interessante Gespräch.

9. WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

■ Bundesverband Geothermie

www.geothermie.de

■ Bundesverband Wärmepumpe

www.waermepumpe.de

■ Informationen des HLNUG zur oberflächennahen Geothermie

<https://www.hlnug.de/themen/geologie/erdwaerme-geothermie/oberflaechennahe-geothermie>

■ Geothermieviewer der HLNUG

<http://gruschu.hessen.de>

<http://geologie.hessen.de>

■ Leitfaden Erdwärmennutzung des HLNUG

https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/Leitfaden_Erwaerme_6._Auflage_gesamt.pdf

alle Formulare zur Genehmigung/Bohranzeige:

<https://www.hlnug.de/themen/geologie/erdwaerme-geothermie/oberflaechennahe-geothermie/downloads>

■ Weitere Informationen zum Forschungsprojekt Hessen 3D:

Hessen 3D 1.0

<https://www.hlnug.de/themen/geologie/erdwaerme-geothermie/tiefe-geothermie/geothermisches-potenzial-projekt-hessen-3d>

Hessen 3D 2.0

https://www.geo.tu-darmstadt.de/fg/angeotherm/geootherm_projekte/hessen_3d.de.jsp

<https://strom-forschung.de/projekt/waerme-aus-dem-untergrund-fuer-hessen/>

■ Weiterführende Informationen/ Kontakte generell:

Koordinationsstelle Kompetenznetzwerk Geothermie bei der LEA

<https://www.lea-hessen.de/unternehmen/kompetenznetzwerk-geothermie/>

Ansprechpartner:

Lisa Körner-Mißkampff & Susanne Jende

LEA Fördermittelauskunft zur oberflächennahen Geothermie in Hessen

<https://lea.foerdermittelauskunft.de/>

10. BILDNACHWEISE

Titel: imago stock & people, Fotolia

Seite 2/3 - Fotolia

Seite 4 - Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

Seite 5 - Abbildung 1: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG)

Seite 6 - Abbildung 2: HHS Planer + Architekten AG / Foto Constantin Meyer

Abbildung 3: © Eike Becker_Architekten

Seite 7/8 - Abbildung 4 & 5: Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 9/10/11: Alle Abbildungen HLNUG

Seite 12 - Abbildung 11: Fotolia

Seite 14 - Abbildung 12: Geoviewer HLNUG

Seite 15 - Abbildung 13 – 16: TU Darmstadt

Seite 16 - Abbildung 17: Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 17 - Abbildung 18 & 19: Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 18 - Abbildung 20: in Anlehnung an Abbildung vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 19 - Abbildung 21: Energielenker Projects GmbH

Seite 20 - Abbildung 22 - 24: in Anlehnung an Abbildung vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 21 - Abbildungen 25 & 26: Stadtwerke Bad Nauheim

Seite 22 - Abbildung 27: Energielenker Projects GmbH

Seite 23 - Abbildung 28 & 29: tewag GmbH

Seite 24 - Abbildung 30: Fraunhofer ISE

Seite 25 - Abbildung 31: Fraunhofer ISE

Seite 26 - Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 27 - Abbildung 32: Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 28 - Abbildung 33: Bundesverband Wärmepumpe (BWP),
Abbildung 34: Wikipedia / Tetris L

Seite 29 - Abbildung 35: DENA

Abbildung 36: Geotechnisches Umweltbüro Lehr

Seite 30 - Abbildung 37 & 38: Bundesverband Wärmepumpen (BWP)

Seite 32 - Bundesverband Wärmepumpe (BWP)

Seite 33 - Shutterstock

Impressum

Herausgeberin

LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH
Mainzer Straße 118
65189 Wiesbaden
lea@lea-hessen.de
www.lea-hessen.de
Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für
Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

Redaktion

Armin Raatz, Malte Cordes und Diana Wetzstein
(Team Nordhessen des Bürgerforums Energiewende
Hessen)

Gestaltung

Thomas Friedrich – Werbeagentur Compri

Stand

Juli 2021



Anmerkung zur Verwendung

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.