

# Klimaschutz Budenheim



## Anhang

zum integrierten Klimaschutzkonzept der verbandsfreien  
Gemeinde Budenheim 2023

Kooperations- und  
Projektpartner:



Wohnungsbaugesellschaft Budenheim GmbH



Gefördert durch:

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit



NATIONALE  
KLIMASCHUTZ  
INITIATIVE



Zukunft  
Umwelt  
Gesellschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Inhaltsverzeichnis Anhang

Zu 4.1 Methodische Grundlagen und Bilanzierungsmethodik	- 2 -
Zu 4.3.1 Energie- und CO <sub>2</sub> e-Emissionsbilanz private Haushalte	- 4 -
Zu 5. Definition von Potenzialen und Szenarien	- 4 -
Zu 5.1 Einsparpotenziale Wärme & Strom	- 5 -
Zu 5.1.2 Potenziale zur Nutzung Erneuerbarer Energien, Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung und Verkehr	- 13 -
I. Windenergie	- 13 -
I.I Bestandsanlagen Windenergie	- 13 -
I.II Potenziale und Szenarien Windenergie	- 14 -
II. Solarthermie und Photovoltaik	- 14 -
II. I Bestandsanlagen Solarthermie	- 15 -
II.II Potenzialanalyse Solarthermie	- 15 -
II.III Ausbauszenario solarthermische Dach- und Freiflächen	- 16 -
II. IV Bestandsanlagen Photovoltaik	- 17 -
II.V Potenzialanalyse Photovoltaik-Dachanlagen	- 17 -
II.VI Hemmnisse und Möglichkeiten bei Photovoltaik-Dachanlagen	- 18 -
II.VII Potenzialanalyse Photovoltaik-Freiflächenanlagen	- 19 -
II.III Potenziale PV-Freiflächen	- 21 -
II.IX Ausbauszenario Photovoltaik Dach- und Freiflächen	- 21 -
III. Biomasse	- 22 -
III.I Bestandsanalyse energetische Biomassenutzung im Untersuchungsgebiet	- 22 -
III.II Potenzialanalyse Feste Biomasse	- 23 -
III.III Flüssige Biomassepotenziale	- 25 -
III.IV Gasförmige Biomassepotenziale	- 25 -
III.V Ausbauszenario Biomasse	- 25 -
IV. Geothermie	- 26 -
IV.I Tiefengeothermie	- 26 -
IV.II Tiefe Erdwärmesonden	- 27 -
IV.III Potenziale der Tiefengeothermie	- 27 -
IV.IV Oberflächennahe Geothermie	- 28 -
IV.V Wärmeerzeugung / Wärmepumpe	- 33 -
IV.VI Bestand geothermischer Heizungssysteme	- 36 -
IV.VII Potenziale der oberflächennahen Geothermie	- 37 -
IV.VIII Ausbaupotenziale Geothermie	- 39 -
V. Wasserkraft	- 40 -
VI. Kraft-Wärme-Kopplung	- 41 -
VI.I Bestandsanalyse KWK	- 41 -
VI.II Ausbauszenario KWK	- 41 -
VII. Verkehr / Mobilität	- 42 -
VII.I Potenziale Verkehr	- 45 -
VII.II Szenarien Verkehr	- 47 -
Zu 5.2.1 CO <sub>2</sub> e-Emissionen der Trendszenarien 2019 bis 2045	- 48 -
Zu 5.2.2 CO <sub>2</sub> e-Emissionen der Klimaschutzszenarien 2019 bis 2045	- 49 -
Abbildungsverzeichnis Anhang .....	50
Tabellenverzeichnis Anhang .....	51
Quellenverzeichnis .....	52

## Zu 4.1 Methodische Grundlagen und Bilanzierungsmethodik

Zunächst wird der Bilanzraum für die Energie- und CO<sub>2</sub>e-Emissionsbilanz festgelegt und die Art der Bilanzierung definiert. Im vorliegenden Konzept wurde ausschließlich nach dem endenergiebasierten Territorialprinzip bilanziert. Diese im Klimaschutz-Planer vorgegebene Methodik zielt auf eine Vergleichbarkeit aller Kommunen ab. Es bedarf einer gründlichen Interpretation der Ergebnisse, um tatsächliche Handlungsfelder der Region zu identifizieren. Kreuzen beispielsweise Autobahnen die Region, würde der Verkehrssektor stark dominieren, jedoch ist der mögliche Einfluss der Kommune auf diesen Bilanzteil minimal. Ähnlich verhält es sich mit industriellen Energiebedarfen und deren THG-Emissionen. In der nachstehenden Tabelle werden die gängigsten Bilanzierungsprinzipien für die Erstellung der kommunalen Energie- und CO<sub>2</sub>e-Bilanz vergleichend erläutert (Difu, 2011).

*Anhang Tabelle 1 Bilanzierungsprinzipien; Quelle: (Difu, 2011)*

Endenergiebasierte	Verursacherbilanz
<b>Territorialbilanz</b>	
Bei der <b>Territorialbilanz</b> werden der gesamte <u>innerhalb</u> eines Territoriums anfallende Energieverbrauch sowie die dadurch entstehenden CO <sub>2</sub> e-Emissionen berücksichtigt. Hierbei werden alle Emissionen lokaler Kraftwerke und des Verkehrs, der in oder durch ein zu bilanzierendes Gebiet führt, einbezogen und dem Bilanzgebiet zugeschlagen. Emissionen, die bei der Erzeugung oder Aufbereitung eines Energieträgers (z. B. Strom) außerhalb des betrachteten Territoriums entstehen, fließen nicht in die Emissionsbilanz mit ein.	Die <b>Verursacherbilanz</b> berücksichtigt alle Emissionen, die <u>durch</u> die im betrachteten Gebiet lebende Bevölkerung verursacht sind, aber nicht zwingend auch innerhalb dieses Gebietes anfallen. Bilanziert werden alle Emissionen, die auf das Konto der verursachenden Verbraucher gehen; also zum Beispiel auch Emissionen und Energieverbräuche die durch Pendeln, Hotelaufenthalte u. ä. außerhalb des Territoriums entstehen.

Die Bilanz wird mit dem Klimaschutz-Planer des Klima-Bündnisses nach dem BSKO-Standard (Bilanzierungs-Systematik für Kommunen) berechnet. Dieser Standard zeichnet sich u.a. durch die endenergiebasierte Territorialbilanz, CO<sub>2</sub>-Faktoren mit Äquivalenten und Vorketten sowie

eine Bilanzierung ohne Witterungskorrektur aus. Weiterhin wird dort die sogenannte Datengüte ausgegeben. Diese bewegt sich zwischen 0 und 1 und beziffert die Aussagekraft einer Bilanz. Je mehr lokal erhobene Daten in die Bilanz einfließen, desto näher bewegt sie sich an der Realität und desto besser können Klimaschutz-Aktivitäten darauf abgestimmt werden. Folgende Abstufungen können in der Eingabe von Daten hinterlegt werden (Klima-Bündnis der europäischen Städte mit indigenen Völkern der Regenwälder /Alianza del Clima e.V., 2021):

- Datengüte A (Regionale Primärdaten) = Faktor 1,0
- Datengüte B (Primärdaten und Hochrechnungen) = Faktor 0,5
- Datengüte C (Regionale Kennwerte und Statistiken) = Faktor 0,25
- Datengüte D (Bundesweite Kennzahlen) = Faktor 0,0

Durch die notwendige Nutzung von statistischen Werten (z.B. im Sektor Verkehr) oder ergänzende Annahmen (z.B. bei nicht-leitungsgebundenen Energieträgern wie Heizöl oder Biomasse) wird die Datengüte der Gesamtbilanz in den seltensten Fällen den Faktor 1 erreichen. Abgeschlossene Bilanzen sollten jedoch als Richtwert eine Datengüte von 0,6-0,8 erzielen. Für die Erstellung des Klimaschutzkonzepts wurden umfassende Datenmaterialien aus unterschiedlichen Quellen verwendet:

#### Abwurf von Daten innerhalb der Gemeindeverwaltung und deren kommunaler Unternehmen:

Hierzu zählen insbesondere:

- Energie: Energieverbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften der Gemeinde
- Kraftstoffverbräuche des kommunalen Fuhrparks
- Bestandsdaten (Energieverbräuche) der Straßenbeleuchtung

#### Daten von Dritten:

Hierzu zählen u. a. Daten zu:

- Energie: Energieabsatz der Energieversorger bzw. Netzbetreiber zur Ermittlung der Verbräuche und Emissionen bzw. Plausibilisierung von lokalen/regionalen Daten
- Strukturdaten: Angaben zu Bevölkerungszahlen und prognostizierte Entwicklungen, Erwerbstätige, Wohngebäudestatistik, Flächenverteilung sowie Anzahl Erneuerbarer Energien-Anlagen (Biomasse, Photovoltaik-Dach- und Freiflächenanlagen, Solarthermie-Anlagen).
- Verkehr: statistische Werte des IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH), bereitgestellt durch den Datenservice der Energieagentur RLP sowie Kfz-Zulassungsstatistik der Gemeinde Budenheim

- Daten zur Feuerstättenstatistik, anonymisiert nach Postleitzahl, bereitgestellt durch das Landesamt für Umwelt Mainz
- Daten aus der Solar-Potenzial Erhebung des Landkreises Baden-Württemberg

### Zu 4.3.1 Energie- und CO<sub>2</sub>e-Emissionsbilanz private Haushalte

In der Energie und CO<sub>2</sub>e-Bilanz der privaten Haushalte zur Wärmeversorgung der Wohngebäude sind Daten der Feuerstättenstatistik sowie von Netzbetreibern in Verbindung mit den Verbräuchen im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen eingeflossen. Der Energieverbrauch aus Biomasse-, Wärmepumpen- und Solarthermie-Anlagen wurde basierend auf Daten der Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), die das Bundes-Förderprogramm für diese Anlagentechniken abwickelt, berechnet. Mit Hilfe von Netzbetreiber- und BAFA-Daten war es möglich, den Stromverbrauch in allgemeine Stromaufwendungen, Wärmepumpenstrom, Nacht-Stromspeicherheizungen und andere Aufwendungen zu unterteilen. Diese Daten der Netzbetreiber und der BAFA-Anlagen wurde über den Datenservice der Energieagentur RLP im Rahmen des Projektes KombiReK ausgewertet und in den Klimaschutz-Planer eingetragen (Energieagentur RLP, 2021). Hier wurden die Daten, die zum Teil auf statistischen Verteilungen beruhen, ergänzt, plausibilisiert und teilweise bereinigt.

Der Heizölverbrauch wurde auf Basis der Feuerstättenstatistik anhand der Anzahl der Heizungsanlagen, aufgeteilt nach verschiedenen Größenklassen, berechnet. Hier sind auch Daten zu Holzöfen und Einzelraumheizungen hinterlegt und in die Bilanz eingeflossen.

## Zu 5. Definition von Potenzialen und Szenarien

Die Definition von Potenzialen und Szenarien findet, soweit darstellbar, für jeden Sektor über technische und wirtschaftliche Einsparpotenziale statt. Dieser Potenzialwert gibt das grundsätzlich in der Region verfügbare Potenzial wieder, ohne finanzielle, politische oder sonstige Einschränkungen. Danach werden in jedem Sektor (private Haushalte, kommunale Einrichtungen, Gewerbe/Handel/Dienstleistung (GHD), Industrie sowie Verkehr) Szenarien erstellt, die mittelfristige Entwicklungspfade des Wärme- und Stromverbrauchs und in der Mobilität bis 2030 und 2045 aufzeigen. Für jedes Handlungsfeld werden weniger („Trend-Szenario“) und mehr („Klimaschutz-Szenario“) anspruchsvolle Entwicklungspfade dargestellt. Die Szenarien

zeigen auf, inwieweit das errechnete theoretische Potenzial unter verschiedenen Entwicklungspfaden ausgeschöpft werden kann.

Die Szenarien werden anhand von regionalen Daten (Gebäudestatistik, Struktur der Flächennutzung etc.) sowie hinterlegten und teilweise auf regionale Gegebenheiten angepasste Annahmen im Klimaschutz-Planer entwickelt.

Für die Trendszenarien wird im Klimaschutz-Planer ein dort sogenanntes „Kommunal-Szenario“ unter Annahme des bundesweiten „Business as usual“-Strommixes (0,330 t CO<sub>2</sub>e/MWh) erarbeitet. Für die Klimaschutzszenarien wird im Klimaschutz-Planer ein dort ebenfalls genanntes „Klimaschutz-Szenario“ unter Annahme eines ambitionierten Strommixes (0,037 t CO<sub>2</sub>e/MWh) erarbeitet.

Den Entwicklungspfaden werden je nach Datenlage die wirtschaftlichen und technischen Potenziale gegenübergestellt. Die Potenziale werden über den Zeithorizont statisch dargestellt (Basisjahr 2019), da mittel- und insbesondere langfristige Projektionen mit verschiedenen Wahrscheinlichkeiten (energiepolitische, umweltpolitische, technische Entwicklungen, Wirtschaftsentwicklung, etc.) behaftet sind.

In den folgenden Kapiteln werden die Vorgehensweisen sowie wichtige hinterlegte Annahmen für die Erstellung der Potenziale und Szenarien in den einzelnen Sektoren und Handlungsfeldern geschildert. Ergebnisse, die über die Methodik oder die Ausgabemöglichkeiten des Klimaschutz-Planers hinausgehen, werden an geeigneter Stelle unmittelbar dargestellt. Dazu gehört u. a. die separate Auswertung der Einsparpotenziale der Straßenbeleuchtung. Zur detaillierteren Betrachtung der Potenziale werden die Entwicklungspfade anhand der vier Bereiche Verbrauchsminderung, Erneuerbare Energien, KWK und Verkehr abschließend tabellarisch nach den Anwendungen Strom, Wärme und Kraftstoffe aufgeschlüsselt.

## **Zu 5.1 Einsparpotenziale Wärme & Strom**

### **Einsparpotenzial Wärme Private Haushalte**

Methodik: Die Potenzialanalyse zur Energie- und CO<sub>2</sub>e-Einsparung des Wohngebäudebestands des Untersuchungsgebiets erfolgt auf der Basis der Ergebnisse aus der Energie- und CO<sub>2</sub>e-Bilanz.

Für die Berechnung des Einsparpotenzials wurde die Wohngebäudestatistik des statistischen Bundesamtes für das Untersuchungsgebiet ausgewertet (Statistisches Bundesamt, 2011). Nach

dieser Gebäudestatistik ist bekannt, wie viele Gebäude es in der Gemeinde Budenheim mit einer, zwei oder mehreren Wohneinheiten gibt und wie groß jeweils die Wohnfläche (in m<sup>2</sup>) ist. Des Weiteren gibt die Gebäudestatistik an, wie viele Gebäude bzw. wie viel Wohnfläche in verschiedenen Baualtersklassen errichtet wurden.

Jeder Gebäudetyp einer Baualtersklasse hat typische Wärmebedarfswerte und einen typischen Aufbau der verschiedenen wärmeübertragenden Flächen wie Wände, Decken oder Fensterflächen.

Die Potenziale der privaten Haushalte sind u. a. von der Bevölkerungsentwicklung bis zum Zieljahr abhängig. Für die Gemeinde Budenheim wurde anhand statistischer Hochrechnungen eine jährliche Bevölkerungszunahme von 0,55 % bis 2045 angenommen sowie eine Wohnflächenänderung pro Person von +17 % bis 2045. Weiterhin wurde eine jährliche Abrissrate von 0,2 % definiert.

In Verbindung mit der Potenzialanalyse wird die Energieeinsparung der privaten Haushalte im Untersuchungsgebiet bis 2030 bzw. 2045 in Szenarien aufgezeigt. Gemäß der Energiebilanz beträgt der Endenergieverbrauch zur Wärmeversorgung der privaten Haushalte im Untersuchungsgebiet rund 55.400 MWh/a. Dies stellt die Ausgangssituation für die Szenarienbetrachtung dar.

Für die Entwicklung des Endenergieverbrauchs Wärme wird in den Szenarien die Sanierungsrate berücksichtigt. Diese gibt an, wie viel Prozent der betrachteten Gebäudefläche pro Jahr vollsaniert werden, darin sind Teilsanierungen als entsprechende Vollsanierungsäquivalente berücksichtigt. So werden z. B. bei 1.000 m<sup>2</sup> Gebäudefläche und einer Sanierungsrate von 1 % pro Jahr 10 m<sup>2</sup> saniert. Es werden zwei Szenarien unterschieden. Mit ca. 1 % in den Trendszenarien ist die aktuelle Sanierungsrate im bundesdeutschen Durchschnitt dargestellt, eine Sanierungsrate von 2,7 % wird als maximales Potenzial angenommen. Dies entspricht einer sehr ambitionierten Rate, welche für das Klimaschutz-Szenario bis 2030 auf 1,1 % und bis 2045 auf 1,4 % angepasst wurde.

Weiterhin wird der mittlere Heizwärmebedarf festgelegt. Für Neubauten beträgt dieser im Trend-Szenario 45 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und im Klimaschutz-Szenario bis 2030 35 bzw. bis 2045 15 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Für sanierte Altbauten wird dieser im Trend-Szenario auf 85 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) festgelegt, im Klimaschutz-Szenario bis 2030 ebenfalls auf 85 bzw. bis 2045 auf 60 kWh/(m<sup>2</sup>\*a).

Für den spezifischen Warmwasserbedarf pro Person wird in sämtlichen Szenarien 2 kWh/Person/Tag nach Vorgaben des Klima-Bündnis definiert (Klima-Bündnis, 2022).

## Einsparpotenzial Strom Private Haushalte

Rund 11.000 MWh<sub>el</sub>/a Strom werden jährlich in den Privathaushalten im Untersuchungsgebiet verbraucht. Das sind rund 17 % des gesamten Stromverbrauchs im Untersuchungsgebiet.

Einsparpotenziale beim Stromverbrauch in privaten Haushalten ergeben sich insbesondere bei Reduzierung des Stand-by-Verbrauchs, bei Haushaltsgeräten, Heizungspumpen und bei der Beleuchtung. Das Einsparpotenzial bei Haushaltsgeräten ist im Untersuchungsgebiet nicht zu quantifizieren, da diese insbesondere vom individuellen Nutzerverhalten geprägt sind. Für den Energieträger Strom sind demnach in Haushalten Einsparungen bereits durch ein Umdenken im Verhalten der Menschen in Verbindung mit gering investiven Maßnahmen (z. B. Aufhebung des Stand-by-Betriebes durch abschaltbare Steckerleisten), durch Effizienzsteigerung bei Haushaltsgeräten, Erneuerung von Heizungs- und Zirkulationspumpen sowie effizientere Beleuchtung möglich.

Den technologischen Effizienzgewinnen stehen neue stromverbrauchende Anwendungen entgegen (u. a. EDV, Elektroautos, Wärmepumpen).

Derzeit bestehen teils noch Hemmnisse, die die Ausschöpfung der Potenziale von Effizienzmaßnahmen beim Stromverbrauch, die eigentlich wirtschaftlich sind, verhindern:

- Informationsdefizite beim Kauf, Einsatz und Kennzeichnung energiesparender Geräte
- Reale Stromverbräuche sind Verbrauchern nicht genügend präsent (jährliche Stromabrechnung), Abhilfe durch zeitnahe Verbrauchsabrechnung wäre denkbar, aber entsprechend zeitaufwendig
- Maßnahmen (Stand-by-Verbrauch, Effizienzklassen, etc.) sind i. d. R. bekannt, jedoch Motivation zur Umsetzung gering, Energieeffizienz als Kaufkriterium tritt hinter Preis und Ausstattung zurück.

Um die Hemmnisse abzubauen, bedarf es umfassender und zielgruppenspezifischer Informationen darüber, wie durch das eigene Verhalten der Stromverbrauch gesenkt werden kann.

Darüber hinaus müssen Einzelhandel und Handwerker ihre entscheidende Funktion und Verantwortung als Multiplikator, Berater und Umsetzer von Einsparmaßnahmen erkennen und nutzen. Ihr Fachwissen regelmäßig zu aktualisieren und in Verkaufsgesprächen offensiv zugunsten Energieeinsparungen einzubringen, sollte selbstverständlich werden.

Hinsichtlich des Stromverbrauchs ist eine jährliche Verbrauchsänderung von -0,2 bis 2030 bzw. -0,9 % bis 2045 im Klimaschutz-Szenario in die Potenzialermittlung eingeflossen. Im Trend-Szenario wird keine Änderung angenommen.



## **Szenarien Strom Private Haushalte**

Als Basis für die Szenarienentwicklung dienen die Stromverbrauchswerte aus dem Bilanzjahr und die ermittelten technischen Potenziale.

Im Klimaschutz-Szenario wird sich hinsichtlich der Stromverbrauchsreduzierung dem aktuellen theoretischen Potenzial von -1 % pro Jahr angenähert und eine jährliche Stromverbrauchsänderung von -0,9 % pro Person angesetzt. Für die Trendszenarien wird angenommen, dass der Strombedarf konstant bleibt.

## **Einsparpotenzial Wärme & Strom Kommunale Liegenschaften**

Die Potenzialanalyse zur Energieeinsparung der kommunalen Liegenschaften erfolgt auf Basis der Ergebnisse aus der Energiebilanz. Der Jahresendenergieverbrauch zur Wärmeversorgung der von der Gemeinde Budenheim unterhaltenen kommunalen Liegenschaften beträgt in Summe 9.000 MWh/a und für die Stromversorgung ca. 2.600 MWh/a. Die Einsparpotenziale der privaten Haushalte sind übertragbar auf die Potenziale im kommunalen Bereich.

## **Szenarien Wärme & Strom kommunale Einrichtungen**

Aufgrund der teilweise hohen Einsparpotenziale wird im Klimaschutz-Planer eine maximale jährliche Änderung im Heizwärmeverbrauch von -5 % sowie -1 % in der jährlichen Warmwasserverbrauchsänderung angelegt. Im Trend-Szenario wurde allerdings ein niedrigerer Wert mit jährlich ca. -0,76 % Abnahme bzw. im Klimaschutz-Szenario mit -3 % bis 2030 und -3,7 % bis 2045. Im Sektor Strom wird ein niedrigeres maximales Potenzial als in den privaten Haushalten gesehen, hier liegt die jährlich theoretisch mögliche Änderung bei -0,2 %, im Klimaschutz-Szenario bis 2030 und -0,6 % bis 2045. Im Trend-Szenario bleibt der Verbrauch unverändert.

Mit Hilfe der Potenzialanalyse wird die Energieeinsparung der kommunalen Gebäude in der Gemeinde Budenheim bis zum Jahr 2030 bzw. 2045 in Szenarien aufgezeigt. Für die Entwicklung des Endenergieverbrauchs werden die Bereiche Wärme, Strom und Warmwasser betrachtet.

## Einsparpotenzial Wärme Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Industrie

### Methodik

Nachstehend werden die technischen und wirtschaftlichen Einsparpotenziale aufgrund ähnlicher Strukturen für die Sektoren Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) und Industrie für die Gebäudewärme und -kälteversorgung im Untersuchungsgebiet dargestellt.

Grundlage der Berechnungen bilden die in der Bilanzierung ermittelten Endenergieverbräuche. Der Endenergieverbrauch im Wärmebereich liegt bei rund 15.300 MWh/a (GHD) bzw. 230.700 MWh/a (Industrie). Für die Ermittlung der Einsparpotenziale in den Sektoren Gewerbe/Handel/Dienstleistung und Industrie werden die Bereiche Strom, Wärme und Warmwasser betrachtet.

Der Potenzialbegriff kann als technisches und wirtschaftliches Potenzial verwendet und in Anlehnung an die Studie des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, 2003) definiert werden.

Das **technische Potenzial** beziffert die Einsparung von Energie, die durch die aktuell effizienteste auf dem Markt erhältliche oder bald erhältliche Technologie zu erreichen ist. Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit sowie mögliche Re-Investitionszyklen wie Wartung oder Reparatur werden hierbei nicht berücksichtigt. Bei Gebäuden wäre dies z. B. eine Sanierung aller Gebäude unter Berücksichtigung technischer Restriktionen auf den neusten Stand der Technik.

Das **wirtschaftliche Potenzial** repräsentiert das Potenzial, das sich innerhalb des zu betrachtenden Zeitraumes ergibt, wenn bei allen Ersatz-, Erweiterungs- und Neuinvestitionen die Technologien mit der höchsten Energieeffizienz eingesetzt werden sowie bei gegebenen Energiemarktpreisen kosteneffektiv sind, also eine Amortisation der Investition unter Berücksichtigung eines definierten Zinssatzes innerhalb einer definierten Lebensdauer. Organisatorische Maßnahmen wie Nutzerverhalten und regelmäßige Wartung finden ebenfalls Berücksichtigung. Bei der Gebäudedämmung würde dies z. B. bedeuten, dass relativ neue Gebäude nicht saniert werden, da der Gewinn, welcher aus der Energieeinsparung resultiert, auf Dauer die Investitionskosten der Maßnahmenumsetzung nicht ausreichend decken würde.

Einsparpotenziale, die in der Wärme- und Kälteversorgung der gewerblichen Gebäude erreicht werden können, setzen sich aus verschiedenen Maßnahmen zusammen und sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

**Anhang Tabelle 2** Einsparpotenziale Raumwärme bei entsprechenden Maßnahmen nach (Fraunhofer ISI, 2003)

Anlage	Maßnahme	Techn. Potenzial	Wirtschaftl. Potenzial
Wärmeerzeuger	Ersatz durch Brennwertkessel	12,5 %	6 %
	Besserer Wärmedämmstandard	46 %	14 %
Lüftungs- und Klimatisierungsanlagen	Kombinierte Maßnahmen	40 - 60 %	30 %

Je nach Wirtschaftszweig liegt ausgehend vom gesamten Endenergieverbrauch zur Wärme- und Kälteversorgung ein unterschiedlich hoher Anteil für die Raumheizung und Klimakälte vor. Eine Branche, die einen hohen Raumwärmeanteil aufweist, hat somit auch ein größeres Einsparpotenzial.

Im Klimaschutz-Planer wird lediglich das technische Einsparpotenzial ausgegeben. Das wirtschaftliche Einsparpotenzial wird definitionsgemäß darunterliegen. Die konkrete Umsetzung von Einsparmaßnahmen sowie deren Wirtschaftlichkeit sind im individuellen Einzelfall zu prüfen.

### Szenarien Wärme Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Industrie

Es werden zwei Szenarien unterschieden, in die ebenfalls die zuvor definierten Sanierungs- und Abrissraten einfließen. Hinsichtlich der konkreten Heizwärmeverbrauchsänderung wird im Trend-Szenario für Industrie eine Abnahme um 1 %/a und bei GHD um 2 %/a angenommen. Im ambitionierteren Klimaschutz-Szenario werden die Veränderungen für GHD auf -3,3 %/a bis 2030 bzw. -3,5 %/a bis 2045 und für Industrie bis 2030 -1 %/a und bis 2045 -1,5 %/a geschätzt.

Die Warmwasserverbrauchsänderung wird im Klimaschutz-Szenario mit einer jährlichen Steigerung von 0,7 %/a bis 2030 und anschließend eine Reduktion auf 0,3 %/a bis 2045 angenommen. Im Trend-Szenario wird zunächst keine Änderung angenommen.

Die Prozesswärmeverbrauchsänderung bleibt in beiden Szenarien für beide Sektoren konstant. Im Klimaschutz-Szenario bis 2030 sind nur minimale Änderungen in GHD (+ 0,1 %/a) angesetzt. Mit ambitioniertem Klimaschutz bis 2045 wäre eine Abnahme von -1,1 %/a im Sektor Industrie denkbar – GHD bleibt auf dem Klimaschutzenszenario Wert bis 2045.

### **Einsparpotenzial Strom Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Industrie**

Die Einsparpotenziale in den Stromanwendungen beschränken sich auf die technische Gebäudeausrüstung (mechanische Lüftung und Beleuchtung) sowie Querschnittstechnologien (elektrische Antriebe, Pumpen und Druckluftanlagen), die nur eine geringe Abhängigkeit von den Produktionsprozessen aufweisen. Der Grund hierfür liegt in der Inhomogenität der Prozessarten innerhalb des Gewerbes und der Industrie, sodass nur in einer individuellen Betrachtung der Gewerbe- und Industriestätten das Einsparpotenzial beziffert werden kann. Außerdem ist von kommunaler Seite keine wesentliche Einflussnahme zur Minderung des Endenergieverbrauchs und der Emissionen durch die Produktionen möglich.

Im Folgenden werden die möglichen technischen Einsparpotenziale im Stromverbrauch des GHD- und Industrie-Sektors im Untersuchungsgebiet ermittelt.

Grundlage der Berechnungen bilden die in der Bilanzierung ermittelten Endenergieverbräuche. Der Endenergieverbrauch im Strombereich liegt bei rund 3.000 MWh/a (GHD) bzw. 64.800 MWh/a (Industrie).

### **Szenarien Strom Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Industrie**

Die möglichen Einsparungen des Stromverbrauchs im GHD- und Industrie-Sektor der Gemeinde Budenheim belaufen sich im Klimaschutz-Szenario auf -0,1 %/a bis 2030 bzw. -0,7 %/a bis 2045. Das Trend-Szenario bleibt konstant. Bis zum Jahr 2030 werden auch in den ambitionierten Entwicklungspfaden weder das heutige wirtschaftliche noch das heutige technisch mögliche Einsparpotenzial erreicht.

## **Einsparpotenziale Straßenbeleuchtung**

In Deutschland ist etwa ein Drittel der Straßenbeleuchtung 20 Jahre alt oder älter. Die Technik ist nicht mehr zeitgemäß, verursacht hohe Energiekosten und ist schwer zu warten. Laut einer Studie der Prognos AG (Prognos, 2007) zum Energieeffizienzpotenzial von Städten werden 36 % des kommunalen Stromverbrauchs für die Straßenbeleuchtung aufgewendet. In der Gemeinde Budenheim beläuft sich der Stromverbrauch für die Straßenbeleuchtung auf ca. 327 MWh<sub>el</sub>/a. Der Anteil der Straßenbeleuchtung am Stromverbrauch im Sektor kommunale Einrichtungen liegt bei ca. 12 %.

Als eine Folge der Energy-related Products (ErP) – Richtlinie, die eine verbesserte Energieeffizienz und allgemeine Umweltverträglichkeit von Elektrogeräten zum Ziel hat, werden Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und Natriumdampf-Austauschlampen zukünftig keine CE-Kennzeichnung mehr erhalten und sind seit 2015 nicht mehr im Handel erhältlich. Seit dem Jahr 2017 sind unzureichend effiziente Halogenmetallampfen nicht mehr verfügbar.

Aufgrund der steigenden Energiepreise sollte bei der Neuanschaffung von Leuchten oder möglichen Modernisierungsmaßnahmen neben den Investitionskosten vor allem auf die laufenden Kosten durch Energieverbrauch und Wartung geachtet werden.

Um daraus resultierende Einsparpotenziale aufzuzeigen, können folgende Rahmenbedingungen festgelegt werden:

- Beim Austausch einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe (HME) gegen LED können etwa 60 % eingespart werden.
- Beim Austausch einer Halogenmetallampfe (HIT), einer Natriumdampf-Niederdrucklampe (LST) oder einer Natriumdampf-Hochdrucklampe (HST/HSE) gegen LED können etwa 40 % eingespart werden.
- Beim Austausch einer Leuchtstoffröhre (LSR) gegen LED können etwa 15 % eingespart werden.
- Eine Dimmung der Leuchten von 2.000 Stunden pro Jahr auf die Hälfte der Leistung würde eine Einsparung von 25 % zur Folge haben.

## **Wasserversorgung**

Die Wasserversorgung sichert eine flächendeckende, sichere, hochwertige und preiswerte Versorgung mit einem Grundnahrungsmittel. Die Kosten der Wasserversorgung werden von allen Bürgern getragen. Zur Bereitstellung des Wassers wird nennenswert elektrische Energie

aufgewendet. Im Bereich der Wasserversorgung stellen die Wassergewinnung und -aufbereitung die wesentlichen Energieeinsatzbereiche dar.

Im Klimaschutz-Planer werden Einrichtungen der Wasserversorgung, sofern lokale Daten hierzu vorliegen, den kommunalen Einrichtungen (unter „sonstige kommunale Gebäude und Infrastruktur“) zugeschrieben. Eine separate Auswertung von konkreten Potenzialen ist somit zum aktuellen Zeitpunkt nicht unmittelbar möglich.

### **Abwasserentsorgung**

Eine Kläranlage wird in Budenheim nicht betrieben. Die energetischen Kosten hinsichtlich der Abwasserentsorgung beschränken sich auf die Pumpen, welche das Abwasser zum nächstgelegenen Klärwerk in Mainz fördern.

Im Klimaschutz-Planer werden Anlagen der Abwassersysteme, sofern Daten hierzu vorliegen, den kommunalen Einrichtungen (unter „sonstige kommunale Gebäude und Infrastruktur“) zugeschrieben. Eine separate Auswertung von konkreten Potenzialen ist somit zum aktuellen Zeitpunkt nicht unmittelbar möglich.

## **Zu 5.1.2 Potenziale zur Nutzung Erneuerbarer Energien, Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung und Verkehr**

### **I. Windenergie**

#### **I.I Bestandsanlagen Windenergie**

Auf der Gemarkungsgrenze der Gemeinde Budenheim bestehen derzeit, Stand Bilanzjahr 2019, keine Windkraftanlagen.

## **I.II Potenziale und Szenarien Windenergie**

Windkraftanlagen im Außenbereich sind nach § 35 Baugesetzbuch als privilegierte Bauvorhaben im Außenbereich zulässig. Eine Steuerung der Errichtung von Windkraftanlagen ist auf kommunaler und regionaler Ebene über die Ausweisung von Vorrangflächen in Bauleit- bzw. Regionalplänen möglich.

Für die Bauleitplanung, den Flächennutzungsplan und Bebauungsplan sind die Gemeinden bzw. Verbandsgemeinde zuständig. Regionalpläne werden von der Regionalplanung erstellt. Vorgaben liefert das von der obersten Planungsbehörde (Ministerien) erstellte Landesentwicklungsprogramm. Das Landesentwicklungsprogramm (LEP IV) beinhaltet die Zielvorgabe auf Landesebene, zwei Prozent der Fläche des Landes Rheinland-Pfalz für die Energienutzung durch Windkraftanlagen bereitzustellen. Die Umsetzung der Teilfortschreibung des LEP IV gibt den Kommunen einen größeren planerischen Spielraum und größere Verantwortung für den Ausbau der Windenergienutzung. Zur planerischen Erschließung der für die Nutzung der Windenergie vorgesehenen Flächen weisen die Regionalpläne Vorrang- und Ausschlussgebiete aus.

In Budenheim ist aufgrund von Flächenverfügbarkeiten für den Bau von Windkraftanlagen, unter den heutigen Rahmenbedingungen, kein Potenzial vorhanden. Dennoch soll der Anteil an Strom aus Windkraft erhöht werden, indem geprüft werden soll, inwieweit Windstrom aus umliegenden Anlagen genutzt werden kann. Zudem soll geprüft werden, ob eine Beteiligung am Neubau von Windkraftanlagen außerhalb der Gemeinde möglich ist. Die Gemeindewerke Budenheim AöR hätten dann die Möglichkeit zwei verschiedene Stromtarife (ursprünglicher Tarif mit aktuellem Strommix und Tarif aus bspw. Wind- und PV-Strommix) anzubieten. In beiden Szenarien fließen demnach keine Flächenpotenziale für Windkraftanlagen ein.

Das Ziel der Bundesregierung beinhaltet für Windkraft einen 2%-Flächenanteil an der Gesamtfläche. Dieses Ziel ist in Budenheim aufgrund der Flächennutzung auszuschließen.

## **II. Solarthermie und Photovoltaik**

In diesem Abschnitt wird das Potenzial für die Nutzung der Solarenergie ermittelt sowie das bereits genutzte und das Ausbaupotenzial dargestellt.

Hierfür werden Anlagen zur Stromerzeugung (Photovoltaik) und Anlagen zur Wärmeerzeugung (Solarthermie) betrachtet. Im Bereich der Photovoltaik werden sowohl Dachanlagen als

auch Freiflächenanlagen berücksichtigt. Im Bereich der Solarthermie können Freiflächenanlagen eine Rolle bei der Umsetzung von Nahwärmeverbänden spielen. Die Potenziale sind hier jedoch mehr von der Wärmesenke als von der verfügbaren Fläche abhängig, sodass diese hier nicht ausgewiesen werden können.

Insbesondere bei Wohngebäuden kann eine Nutzungskonkurrenz entstehen, da hier auf den Dächern sowohl Photovoltaik- als auch Solarthermieanlagen installiert werden können.

## **II. I Bestandsanlagen Solarthermie**

Die Erfassung der bestehenden solarthermischen Anlagen erfolgt durch Auswertung der Datenbank der Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAfA), die das sogenannte Marktanzreizprogramm betreut, ein Förderprogramm für den Einsatz Erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung. Dieses Förderprogramm lief Ende 2020 aus und wurde durch das Teilprogramm für Einzelmaßnahmen (BEG EM) „Heizen mit Erneuerbaren Energien“ ersetzt. Solarthermische Anlagen, die ohne einen Zuschuss aus diesem Programm errichtet wurden, sind nicht erfasst. Die Anzahl dieser Anlagen ist allerdings als gering einzuschätzen.

Die Solarthermie spielt 2019 mit etwa 320 MWh<sub>th</sub>/a eine eher untergeordnete Rolle in der Wärmeerzeugung der Gemeinde Budenheim.

## **II.II Potenzialanalyse Solarthermie**

Solarthermische Anlagen werden fast ausschließlich auf Wohngebäuden installiert, in Ausnahmefällen auf öffentlichen Gebäuden mit entsprechendem Warmwasserbedarf (Turnhallen, Sportheime) oder Betrieben mit Niedertemperatur-Prozesswärmebedarf, für dessen Sonderfall eine solarthermische Anlage in Betracht kommt. Bei der Potenzialermittlung werden sämtliche Gebäude des Gebietes mit geeigneter Dachfläche betrachtet. Solarthermische Anlagen sind auf den Warmwasserbedarf und/oder den Warmwasserbedarf und den Heizenergieverbrauch des Gebäudes ausgelegt. Die benötigte Fläche ist dadurch begrenzt. Die durchschnittliche Kollektorfläche einer solarthermischen Anlage liegt bei rund 6,8 m<sup>2</sup> pro Gebäude. Der größere Teil der solarthermischen Anlagen wird nur zur Warmwasserbereitung genutzt, ein geringerer Teil unterstützt die Heizung bei der Heizwärmebereitstellung. Es ist zu erwarten, dass dieser Anteil zunimmt, da mit steigenden Energiepreisen auch die Heizungsunterstützung wirtschaftlich interessanter wird. Vor allem im Neubaubereich ist damit zu rechnen, dass immer mehr Solarthermieanlagen zur Heizungsunterstützung errichtet werden.



Daneben werden nach der „Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG-EM)“ solarthermische Anlagen gefördert, die zu mehr als 50 % die Warmwasserbereitung, die Raumheizung oder beides kombiniert unterstützen (BMWK, 2021).

Das Gesamtpotenzial zur Wärmeerzeugung mit solarthermischen Anlagen wird im Klimaschutz-Planer über die solare Gütezahl abgeschätzt. Hier wird der Teil der Gebäude- und Freiflächen eingetragen, der für Solarthermie-Anlagen verwendbar ist. Grundlage stellen die verfügbaren Nutzflächen (nach Sektoren GHD, KE, Industrie und private Haushalte) sowie die Verbrauchsanteile, die solar gedeckt werden können, dar. Nach dem (Klima-Bündnis, 2022) ist eine mittlere Globalstrahlung von 1.055 kWh/m<sup>2</sup> sowie eine solare Gütezahl von 0,07 hinterlegt. Im Klimaschutz-Planer werden die Potenziale für Photovoltaik und Solarthermie nicht als konkurrierend betrachtet, sondern mit Vorrang für Solarthermie. Das Solarthermie-Potenzial wird somit in die nutzbare Fläche für PV-Anlagen eingerechnet.

### **II.III Ausbauszenario solarthermische Dach- und Freiflächen**

Es werden zwei Szenarien unterschieden. Im Trend-Szenario wird der Zubau und damit der Nutzungsanteil der Solarthermie an dem Dachflächen-Potenzial im Sektor IND nicht zunehmen. Im Sektor Privathaushalte wird aufbauend auf den Nutzungsanteil im Bilanzjahr 2019 (<1 %) ein leicht steigender Nutzungsanteil von 2 % im Jahr 2030 und von 6 % im Jahr 2045 angenommen. Im Sektor GHD wird eine ähnliche Zunahme angenommen mit 2 % bis 2030 und 5 % bis 2045.

Im Klimaschutz-Szenario werden die vorhandenen Potenziale der nutzbaren Dachflächen in den Sektoren GHD und IND gleichermaßen bis 2030 auf 5 % und 2045 auf 15 % angehoben. Für die privaten Haushalte ist ein höheres Solarthermie Potenzial hinterlegt mit 10 % bis 2030 und 30 % bis 2045.

Solarthermische Freiflächenanlagen können bei der Errichtung von Wärmenetzen eingesetzt werden. In den Sommermonaten, der Übergangszeit und an sonnigen Wintertagen kann bei geeigneter Auslegung des Kollektorfeldes und der Pufferspeicher ein Großteil des Wärmebedarfs durch die Solaranlage gedeckt werden. Weiter kann in den Übergangsmonaten der Spitzenleistungsbedarf durch die Solarthermieanlagen reduziert werden.

Die Wirtschaftlichkeit großflächiger Solarthermieanlagen hängt nach dem Planungs- und Genehmigungsleitfaden für Freiflächen-Solarthermie von folgenden Faktoren ab (Hamburg Institut , 2016):

- Entfernung zur Heizzentrale des Wärmenetzes
- Geografische Lage der Solarthermie-Freifläche (wichtig für den Ertrag)
- Hydraulische Einbindungsmöglichkeiten ins Wärmenetz
- bei mehreren Netzen das Geeignetste auswählen
- Bodenpreis

Auch hier werden zwei Szenarien unterschieden. Im Trend-Szenario wird kein Zubau von Solarthermie-Freiflächenanlagen erfolgen. Im Klimaschutz-Szenario wird ein Wert von 0,05 % bis zum Zieljahr 2045 angesetzt. Bei einer Landwirtschaftsfläche von ca. 86 ha in der Gemeinde Budenheim (Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 2022) würde dies einer nutzbaren Fläche von ca. 0,04 ha und einem jährlichen Solarertrag von ca. 87 MWh entsprechen.

## **II. IV Bestandsanlagen Photovoltaik**

Im Jahr 2019 wurden in der Gemeinde Budenheim rund 600 MWh<sub>el</sub> Strom durch PV-Anlagen (Dach + Freifläche) mit EEG-Förderung erzeugt (Energieagentur RLP, 2021). Dies entspricht in etwa einem Anteil von ca. 4 % des derzeitigen Stromverbrauchs der am Niederspannungsnetz hängenden Verbraucher. Die weiteren Betrachtungen der Potenziale und Szenarien beruhen auf Grundlage der EEG-geförderten Anlagen bis zum Bilanzjahr 2019 und orientieren sich an den Zieljahresdaten des angegebenen maximalen technischen Potenzials im Klimaschutz-Planer.

## **II.V Potenzialanalyse Photovoltaik-Dachanlagen**

Das technische Potenzial umfasst die Dachflächen, die aufgrund ihrer Ausrichtung und Neigung für die Errichtung von Photovoltaik-Dachanlagen geeignet sind. Bei der Ermittlung der Solar-Strom-Erzeugungspotenziale auf Dachflächen wurden, ergänzend zum Vorgehen im Klimaschutz-Planer, die Daten des Solarpotenzialkatasters Kreis Budenheim-Worms verwendet. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Die Energieagentur RLP weist ausdrücklich darauf hin, dass die ermittelte Eignungsfläche der Dächer für Photovoltaik und Solarthermie gemeinsam ausgewiesen ist. Sie ist somit als konkurrierend zu betrachten. Auch werden technisch mögliche Potenziale ausgegeben, die keine

wirtschaftliche Bewertungen enthalten. Aspekte der Dachstatik und der Dachdichtigkeit sind bei der individuellen Anlagenplanung besonders genau zu beachten.

**Anhang Tabelle 3** Ergebnistabelle Dach-PV-Potenzial Gemeinde Budenheim (gerundete Werte)

<b>Potenzial Stromertrag</b>	<b>Strom- ertrag 2019</b>	<b>Potenzial CO<sub>2</sub>- Einsparung</b>	<b>CO<sub>2</sub>- Einsparung 2019</b>
[MWh <sub>el</sub> /a]	[MWh <sub>el</sub> /a]	[t CO <sub>2</sub> e/a]	[t CO <sub>2</sub> e/a]
6.700	600	1.700	160

Das Gesamtpotenzial Stromerzeugung mit PV-Anlagen wird im Klimaschutz-Planer über die solare Gütezahl abgeschätzt. Hier wird der Teil der Gebäude- und Freiflächen eingetragen, der für PV-Anlagen verwendbar ist. Grundlage stellen die verfügbaren Nutzflächen (nach Sektoren GHD, KE, Industrie und private Haushalte) sowie eine maximal nutzbare Dachfläche für PV inkl. Solarthermievorrang von 60 % dar. Nach dem (Klima-Bündnis, 2022) ist eine mittlere Globalstrahlung von 1.055 kWh/m<sup>2</sup> sowie eine solare Gütezahl von 0,07 hinterlegt. In die weitere Bearbeitung der Szenarien fließt die Methodik aus dem Klimaschutz-Planer ein.

## II.VI Hemmnisse und Möglichkeiten bei Photovoltaik-Dachanlagen

Nach den derzeitigen Rahmenbedingungen des EEG 2021 (sinkende Einspeisevergütung für PV-Strom) können vor allem PV-Anlagen mit einem hohen Eigenverbrauchsanteil des erzeugten Stroms wirtschaftlich betrieben werden. Jedoch wurde der eigenverbrauchte PV-Strom aus PV-Anlagen größer 30 kWp bis zum 30.06.2022 mit einer anteiligen EEG-Umlage beaufschlagt (§ 61 EEG 2021). Dies konnte dazu führen, dass bei neuen Anlagen nicht die gesamte verfügbare Dachfläche genutzt wird und Potenziale unerschlossen bleiben. Ob diese durch Änderungen der Gesetzeslage (EEG 2023 sowie seit 01.07.2022: Wegfall der EEG-Umlage) oder wirtschaftlichen Voraussetzungen nachträglich genutzt werden, ist fraglich. Wenn die Entwicklung hin zu einer Arealversorgung geht, könnten größere Flächen geeigneter Dächer mit PV belegt werden, um die Gebäude im Areal, die sich nicht für PV eignen, mitzuversorgen.

Ein großes Potenzial im Bereich der PV-Dachanlagen liegt in Dachflächen von Gebäuden mit vermieteten Wohneinheiten. Lange war ein Betrieb einer solchen Mieterstromanlage für den Vermieter nicht wirtschaftlich, da weitere Kosten für Abrechnung, Vertrieb und Messungen

auf die Vermieter zukommen (Bundesnetzagentur, 2017). Im EEG 2017 ist daher eine sogenannte Mieterstromklausel integriert worden, welche mit dem EEG 2021 neue Berechnungsmodi und Obergrenzen erhalten hat. Der Betreiber einer solchen Anlage soll einen Zuschlag auf den an die Mieter abgegebenen Strom (Mieterstrom) erhalten. Die Höhe des Mieterstromzuschlags passt sich proportional zur Vergütung von eingespeistem Strom aus PV-Anlagen an. Bei Anlagenleistungen zwischen 40 kW und 750 kW beträgt der feste Zuschlag 2,37 ct/kWh, bei Anlagen zwischen 10 kW und 40 kW 3,52 ct/kWh und bei Anlagen <10 kW 3,79 ct/kWh (Solarserver, 2021). Diese Förderung soll ein Anreiz für den Ausbau von Photovoltaikanlagen auf Mietobjekten sein und damit diese bisher selten genutzten Potenziale aktivieren.

## **II.VII Potenzialanalyse Photovoltaik-Freiflächenanlagen**

### **Rahmenbedingungen**

Freiflächenanlagen bergen aufgrund des Flächenbedarfs ein höheres Konfliktpotenzial bezüglich Naturschutzbelangen. Weiter sind Freiflächenanlagen genehmigungsbedürftig, wodurch in der Planungsphase unter anderem Umweltverträglichkeitsprüfungen durchzuführen sind.

Im Folgenden wird ein Überblick über die derzeitigen Rahmenbedingungen und eine Potenzialeinschätzung zu PV-Freiflächen vorgenommen.

Bei der Ermittlung des Potenzials für die Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen sind technische, wirtschaftliche und rechtliche Aspekte relevant. Bei einer Freiflächenanlage handelt sich nach § 3 Nr. 22 EEG 2021 um eine Solaranlage, die nicht auf, an oder in einem Gebäude oder einer sonstigen baulichen Anlage angebracht ist, die vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie errichtet worden ist. Parallel dazu gibt es strenge Vorgaben an die förderfähigen Flächen, da Solaranlagen grundsätzlich vorrangig auf Flächen errichtet werden sollen, die weder landwirtschaftlich noch ökologisch „hochwertig“ sind und deshalb auch nur dort nach dem EEG gefördert werden. Hinsichtlich der Vergütungsfähigkeit einer PV-Freiflächenanlage sind die Flächen zu betrachten, die die Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes einhalten (EEG, 2021):

- Fläche ist versiegelt oder
- Flächen im Abstand von bis zu 200 m vom Außenrand der befestigten Fahrbahn von Autobahnen oder Schienenwegen oder
- Konversionsfläche aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung, die nicht als Naturschutzgebiet oder Nationalpark festgesetzt worden ist.

Zudem wurde in Rheinland-Pfalz von der „Länderöffnungsklausel“ für Acker- und Grünlandflächen Gebrauch gemacht. Wenn die Fläche in die dort genannten Gebiete und Flächentypen fällt und das jeweilige Ausschreibungsvolumen noch nicht ausgeschöpft ist, ist auch hierüber eine Förderung möglich. In Rheinland-Pfalz werden pro Kalenderjahr Gebote für Acker- und Grünlandflächen bis zu einem Umfang von 200 MW bezuschlagt, wobei das letzte Gebot noch vollumfänglich bezuschlagt wird (Landesverordnung über Gebote für Solaranlagen auf Ackerland- und Grünlandflächen in benachteiligten Gebieten vom 21.11.2018, letzte berücksichtigte Änderung durch die Verordnung vom 22.12.2021 (Landesrecht Rheinland-Pfalz, 2021). Über die BNetzA kann das noch zu vergebende Flächenkontingent eingesehen werden.

Durch die neuen Rahmenbedingungen, wie die Einführung von Ausschreibungen für PV-Freiflächenanlagen sowie eine verpflichtende Direktvermarktung ab einer gewissen Größenordnung ergeben sich neue Fragestellungen im Hinblick auf die Errichtung von Freiflächenanlagen.

Nach dem EEG 2017 besteht für PV-Anlagen ab einer Leistung von 750 kWp eine Ausschreibungspflicht. Ab einer Größe von 100 kWp fallen die Anlagen dabei nach wie vor unter die verpflichtende Direktvermarktung (Rödl & Partner, 2017). Damit können Anlagen bis 750 kWp ohne Ausschreibungspflicht errichtet werden und können durch das Marktprämienmodell des EEG gefördert werden. Im Zuge der Innovationsausschreibungsverordnung (InnAusV) werden von der Bundesnetzagentur zudem Gebote für Anlagenkombinationen mit besonderen Solaranlagen vergeben. Darunter fallen Solaranlagen auf Gewässern, auf Ackerflächen bei gleichzeitigem Nutzpflanzenanbau, auf landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Anbau von Dauer- oder mehrjährigen Kulturen sowie auf Parkplätzen. Diese Solaranlagen müssen des Weiteren immer in Kombination mit einer weiteren Technologie, wie beispielsweise einem Speicher, stehen. Das Gebotsvolumen je Gebotstermin ist dabei beschränkt und richtet sich nach den tatsächlich eingereichten Geboten.

Eine weitere Möglichkeit ist es, eine PV-Freifläche unabhängig von der EEG-Vergütung oder des Marktprämienmodells des EEG zu betreiben und allein zur eigenen Versorgung oder durch eine Direktvermarktung außerhalb des EEG Erlöse zu erzielen. Die im EEG verankerten netzbezogenen Ansprüche bleiben dann dennoch bestehen.

Ein wichtiges Kriterium ist dann die Nähe zu einem (Groß-)Verbraucher, der den Strom direkt abnimmt. Weitere Kriterien sind unter anderem die Größe der Fläche, die Neigung, Besitzverhältnisse, naturschutzrechtliche Belange und die Bodenbeschaffenheit.

Im Gegensatz zu Windkraftanlagen sind PV-Freiflächenanlagen keine privilegierten Vorhaben im Außenbereich nach § 35 Abs. 1 und 2 BauGB. Sie können als sonstige Vorhaben zugelassen werden, insofern sie keine öffentlichen Belange beeinträchtigen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn eine PV-Freiflächenanlage nicht der Darstellung eines Flächennutzungsplans, Bebauungsplans oder sonstigen Plans entspricht (Energieagentur NRW, 2014). Das EEG regelt

dabei nur netzbezogene Ansprüche und Fördervoraussetzungen, die Baugenehmigung bleibt davon unberührt und muss entsprechend darüber hinaus vorliegen.

### **II.III Potenziale PV-Freiflächen**

Das Potenzial für PV-Freiflächen ist im Einzelfall zu prüfen. Für die Land- und Forstwirtschaft wertvolle Böden sind in der Gemeinde Budenheim als Flächen für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen nicht prioritär. Als mögliche Flächen könnten freie Flächen in bauplanerisch ausgewiesenen Gewerbe- und Industriegebieten in Betracht kommen. Diese sind für Unternehmen attraktiv, um den erzeugten Strom zur Eigenversorgung zu nutzen oder an Dritte weiter zu vermarkten. Allgemein bedarf es der Ausweisung im Bebauungsplan als Sondergebiet PV-Freiflächenanlage oder Sondergebiet für Erneuerbare Energien. Aufgrund der beschriebenen Rahmenbedingungen (z. B. Ausschreibungspflicht, Struktur im Untersuchungsgebiet) ist es zudem derzeit fraglich, ob kurz- bis mittelfristig Potenziale in den Gewerbegebieten erschlossen werden können.

### **II.IX Ausbauszenario Photovoltaik Dach- und Freiflächen**

Für Budenheim ist im Trend-Szenario bis 2030 eine Steigerung von ca. 7,2 % (Verdopplung PV-Leistung) und bis 2045 eine Steigerung von 11,2 % (Verdreifachung PV-Leistung) realistisch angesetzt. Im Klimaschutz-Szenario sollen bis 2030 20 % des Gesamtpotenzials der Dachflächen genutzt werden (5-fache PV-Leistung) und bis 2045 soll das maximal technische Potenzial von 49 % der Dachflächen genutzt werden, was der 11-fachen PV-Leistung zu 2019 entspricht. Hinsichtlich der PV-Freiflächenanlagen wird im Trend-Szenario aufgrund zuvor genannter Rahmenbedingungen und möglichen Entwicklungen eine moderate Zunahme der aktuell installierten Leistung angestrebt (entspricht ca. 0,44 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche bis 2045). Im Klimaschutz-Szenario werden 0,44 % der potenziell nutzbaren landwirtschaftlichen Fläche Budenheims für PV-Anlagen bis 2030 und bis 2045 1 % inkl. Solarthermievorrang verwendet.

## III. Biomasse

In diesem Abschnitt werden die Potenziale zur Gewinnung und energetischen Nutzung von Biomasse dargestellt. Hierzu gehören biogene Reststoffe, die zum jetzigen Zeitpunkt schon anfallen oder in Zukunft anfallen werden, sowie speziell für die energetische Verwertung angebaute Energiepflanzen. Dabei wird unterschieden zwischen fester Biomasse (z.B. aus der Forstwirtschaft, Altholz, Landschaftspflegeholz), flüssiger Biomasse und gasförmiger Biomasse (z.B. aus Gülle, Festmist, Bioabfall, Grünschnitt).

### III.I Bestandsanalyse energetische Biomassenutzung im Untersuchungsgebiet

Im Gemeindegebiet befanden sich im Jahr 2019 keine EEG-geförderten Biomasseanlagen. In der Waldkita in Budenheim wird jedoch mit einem BHKW geheizt. Der Wärmeoutput betrug im Jahr 2019 rund 58 MWh.

Zur Abschätzung der installierten Leistung von Heizungsanlagen und Einzelraumheizungen (Öfen) auf Basis fester Brennstoffe wurde die Feuerstättenstatistik ausgewertet, bereitgestellt durch das Landesamt für Umwelt aus Mainz. Insgesamt sind ca. 730 Biomassekessel in Budenheim im Gebiet der Gemeinde Budenheim durch Schornsteinfeger aufgenommen worden, welche rund 1.800 MWh im Jahr 2019 verbrauchten. Es wird die Annahme getroffen, dass es sich bei diesen festen Brennstoffen rein um Biomasse handelt. Folgende Aufteilung konnte herausgearbeitet werden:

Einzelraumfeuerstätten:

- 4-11 kW: 692
- > 11 kW: 14

Zentralfeuerstätten:

- 4-11 kW: 4 Anlagen
- 11-25 kW: 15 Anlagen
- 25-50 kW: 6 Anlagen

Diese Abstufungen entsprechen der Abfrage im Klimaschutz-Planer. Anlagen über 100 kW werden dabei dem Sektor GHD zugeschrieben, alle weiteren den privaten Haushalten.

Die konkrete Wärmeerzeugung ist stark abhängig vom Nutzerverhalten. Anhand der Leistungsgrößen kann jedoch eine Abschätzung erfolgen. Bekannte Biomassekessel aus den bilanzierten kommunalen Liegenschaften sind dabei mit dem durch die Gemeinde zur Verfügung gestellten Verbrauch in die Bilanz eingeflossen.

### **III.II Potenzialanalyse Feste Biomasse**

Feste Biomasse wie Holz oder halmartige Feststoffe wie z. B. Stroh kann in Biomasseheizungen und –heizwerken sowie Pyrolyseanlagen zur Wärmeerzeugung, aber auch in Biomasseheizkraftwerken zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden.

Zusätzlich gibt es verschiedene Reststoffpotenziale und Potenziale für Biomasse, die speziell zur energetischen Nutzung angebaut werden.

Die Fläche des Lennebergwaldes beträgt rund 700 ha und teilt sich auf in 200 h Staatswald und 500 ha Waldfläche des Zweckverbandes Lennebergwald. Gemäß dem statistischen Landesamt beträgt die Waldfläche im Untersuchungsgebiet 400 ha (Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 2022), was 57 % der Gesamtwaldfläche ausmacht. Das Waldholzpotenzial wird im Klimaschutz-Planer auf 13,2 MWh/ha beziffert (Klima-Bündnis, 2022), was in der Gemeinde Budenheim einem theoretischen Potenzial von ca. 5.300 MWh entspricht. Da das aufgrund aktueller Entwicklungen nicht umwelt- und klimafreundlich ist, muss das Potenzial relativiert werden. Der Wald leidet zunehmend unter Trockenheit, Krankheiten und Schädlingsbefall, was den Einschlag erheblich beeinflusst. Bedingt durch die starken Klimaschäden und dem dadurch ausgelösten Waldsterben, werden aktuell dem Lennebergwald jährlich rund 1000 Festmeter Holz nachhaltig entnommen. Perspektivisch (in 10 Jahren und erfolgreicher dürreresistenter Aufforstung) kann die nachhaltige Holznutzung auf ca. 2.000 Festmeter Holz pro Jahr gesteigert werden. Bezogen auf das Budenheimer Untersuchungsgebiet, würden maximal 1.140 Festmeter Holz anfallen, was einem Energetischen Potenzial von ca. 2.700 MWh/a entspräche. Aufgrund klimatischer Auswirkungen sollte die stoffliche Nutzung des Stammholzes priorisiert werden, sodass diese Holzprodukte als langfristige CO<sub>2</sub>-Senke dienen können. Das für die stoffliche Nutzung ungeeignete Holz stünde für die energetische Nutzung zur Verfügung und macht ca. 15 % der entnommenen Holzmenge aus. Dies entspräche einer Holzmenge von 171 Festmetern bzw. einem energetischen Potenzial von 405 MWh/a.

Maßnahmen zur klimafreundlichen Ausstattung einer Ersatz- oder Wiederaufforstung gestalten sich vor allem in kleinen Gemeinden aufgrund der Finanzlage schwierig. Der Anteil zur KWK-Nutzung von Waldholz wird mit 85 % definiert. Auch hier ist anzumerken, dass dieses



technische Potenzial in der Realität vermutlich nicht ausgeschöpft werden kann. Es ist vielmehr die Frage zu prüfen, wo eine solche KWK-Anlage wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann.

Das in Entsorgungsunternehmen anfallende Altholzpotezial liegt in Budenheim bei ca. 400 t/a Altholz der Kategorie AI-All sowie rund 1.000 t/a Grünschnitt und Laub.

Bei der Altholzverwertung wird dieses in einem ersten Schritt entsprechend der weiteren Nutzung sortiert und zerkleinert. Das aufbereitete und klassifizierte Altholz kann stofflich und energetisch verwertet werden, wobei der stofflichen Verwertung aufgrund der Abfallhierarchie nach KrWG Vorrang einzuräumen ist. Der Heizwert von Altholz liegt zwischen 3 und 4,1 MWh/t (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 2023). Somit liegt das in Budenheim anfallende Potenzial zwischen 1.200 und 1.640 MWh/a.

Der Grünschnitt besteht aus Geäst, kleinen Zweigen sowie Baumstämmen mit max. 8 cm Durchmesser, Rasenschnitt und Laub. Die Mischfraktion macht eine einheitliche energetische Verwertung nicht möglich. Relativ feuchte Grünbestandteile (Rasenschnitt etc.) eignen sich sehr gut für die Erzeugung von Biogas sowie zur Kompostierung. Für die Verbrennung sind sie aufgrund des hohen Feuchtigkeitsanteils weniger geeignet. Hier eignen sich wiederum holzige Grünabfälle wie Baumschnitt besonders gut, die u.a. wegen des hohen Holz- bzw. Lignin-gehaltes für die Vergärung in Biogasanlagen ungeeignet sind. Daher ist für eine optimale Verwertung eine weitere Fraktionierung erforderlich. Aufgrund der Heterogenität der Einzel-fraktionen des Grünschnittes ist eine Abschätzung des energetischen Potenzials schwierig.

Zuletzt wird das anfallende Stroh aus der Getreideanbaufläche berücksichtigt. Bei einem spezifischen Getreideertrag von 12 t/ha, einer Getreideanbaufläche von 24 ha, eines Verhältnisses von Stroh zu Getreide von 0,86 t/t sowie eines energetischen Nutzungsanteils des Strohs von 35 % sind hier Potenziale von insgesamt rund 87 t (Heizwert Stroh: 14,3 MJ/kg) auszuweisen. Auch dieses Potenzial muss für die tatsächliche Nutzung in der Gemeinde Budenheim relativiert werden. Der Einsatzort (z. B. für ein BHKW) im Wärmeverbund als auch der logistische Aufwand sind dabei fraglich.

Insgesamt sind aus der festen Biomasse unter Beachtung diverser Technologieparameter (Wirkungsgrade KWK, Heizwerte) Potenziale zur Stromerzeugung von ca. 700 MWh<sub>el</sub>/a sowie zur Wärmeerzeugung von ca. 3.700 MWh<sub>th</sub>/a zu ermitteln (Angaben aus dem Klimaschutz-Planer).

In der Trend-Szenarienentwicklung werden die beschriebenen theoretischen, technischen Potenziale aufgrund der genannten Einschränkungen sehr vorsichtig behandelt und ggf. nicht beachtet.

### **III.III Flüssige Biomassepotenziale**

Das Potenzial für flüssige Biomasse, konkret flüssige Biokraftstoffe, wird in diesem Konzept aufgrund eines geringen Flächenpotenzials und Nutzungskonkurrenz nicht weiter betrachtet. Flüssige Biomasse müsste aus der Region „exportiert“ werden, weshalb es in den Szenarien nicht betrachtet wird.

### **III.IV Gasförmige Biomassepotenziale**

Gasförmige Biomassepotenziale bestehen aus Klär- und Biogas, das über vergärbare Rückstände aus der Landwirtschaft, aus Abfällen oder aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden kann. Auch hier wird ein sehr geringes, zu vernachlässigendes Potenzial aufgrund von geringer Flächenverfügbarkeit und Nutzungskonkurrenz angenommen.

Die ermittelten Potenziale im Bereich Klärgas sind in der Gemeinde Budenheim vergleichsweise gering. Das bereits genutzte Potenzial liegt 2019 bei rund 1.700 MWh für die Stromerzeugung. Über durchschnittliche spezifische Klärgasmengen von 20 l/Ew./Tag (Klima-Bündnis, 2022) sowie weitere Technologieparameter (Brennwerte, Wirkungsgrade etc.) kann zur Stromerzeugung ein zusätzliches theoretisches Potenzial von ca. 110 MWh/a sowie zur Wärmeerzeugung von ca. 130 MWh/a bestimmt werden. In den Szenarien sind diese Werte nicht ausschlaggebend. Beim Deponiegas wird ebenso wie bei Biogas kein weiteres Potenzial als das bereits genutzte (1.100 MWh Deponiegas, 0 MWh Biogas in 2019) ausgewiesen.

### **III.V Ausbauszenario Biomasse**

Die unterschiedlichen Szenarien beruhen in erster Linie darauf, inwiefern die zuvor beschriebenen Potenziale ausgeschöpft werden. So wird für die Biokraftstoffherzeugung im Trend-Szenario und im Klimaschutz-Szenario ein Anteil der Fläche nachwachsender Rohstoffe an der gesamten Ackerfläche von 0 % angenommen. Auch für die Stromerzeugung wird der Anteil der Kurzumtriebsplantagen an der Ackerfläche in beiden Szenarien mit 0 % angesetzt.

Bedingt durch die Verteilung von Gülle- und Festmistaufkommen des bestehenden Tierbestands auf die entsprechenden landwirtschaftlichen Betriebe mit entsprechenden festen Verwertungswegen, ist eine absehbare Nutzbarkeit der Energieerträge in Summe als gering anzusehen. Ein entsprechendes nutzbares Potenzial des Reststoffnutzungsgrades wird

demnach in beiden Szenarien nicht ausgewiesen. Zu beachten hierbei ist, dass im Klimaschutz-Planer keine finanziellen, politischen oder sonstigen Einschränkungen eingerechnet werden. Die Szenarien hinsichtlich der KWK-Nutzung, welche teilweise auf den Potenzialen der Biomasse aufbauen, werden in einem separaten Kapitel betrachtet.

## **IV. Geothermie**

Als Geothermie wird die unterhalb der Erdkruste gespeicherte Energie bezeichnet (PK TG, 2007). Geothermische Energie (Erdwärme) kann vielseitig eingesetzt werden. Bei der Nutzung wird prinzipiell zwischen tiefer und oberflächennaher Geothermie unterschieden. Entsprechend werden in diesem Kapitel die Nutzungsmöglichkeiten der tiefen und oberflächennahen Geothermie, deren Bestand im Untersuchungsgebiet sowie deren Potenziale dargestellt. Im Bereich der Potenziale der oberflächennahen Geothermie wird auch auf die Kalte Nahwärme als eine Möglichkeit der effizienten Wärmequellenerschließung im Verbund eingegangen.

### **IV.I Tiefengeothermie**

Die Nutzung von Erdwärme aus einer Tiefe ab 400 m wird als Tiefengeothermie bezeichnet. In der Praxis spricht man jedoch erst ab einer Tiefe von 1.000 m und einer Temperatur von ca. 60 °C von tiefer Geothermie (PK TG, 2007). In Deutschland sind ausschließlich Lagerstätten mit niedriger Enthalpie, d.h. < 200 °C, bekannt. Abhängig vom Temperaturniveau kann die Energie aus tiefengeothermischen Lagerstätten zur Stromerzeugung und/oder zu Heizzwecken genutzt werden. Bei der Wärmenutzung bieten sich vor allem die Möglichkeiten, Erdwärme zur Gebäudebeheizung oder als Prozesswärme zu nutzen. Geothermischer Strom hat den Vorteil, dass seine Verfügbarkeit nicht wesentlich durch tageszeitliche oder jahreszeitliche Schwankungen beeinflusst wird. Deswegen ist eine Netzintegration geothermischen Stroms im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern, wie z. B. Windkraftanlagen, wesentlich einfacher.

Neben dem Temperaturniveau wird innerhalb der Tiefengeothermie zwischen hydrothermalen und petrothermalen Systemen unterschieden (GTV, 2011). Hydrothermale Systeme nutzen wasserführende Schichten in großer Tiefe und können zu Heizzwecken genutzt werden. Zur Stromproduktion werden Temperaturen von über 100 °C und hohe Schüttungen (mind. 14 l/s) benötigt (Paschen, Herbert; Oertel, Dagmar; Grünwald, Reinhard, 2003).

Petrothermale Systeme nutzen die hohen Temperaturen in großen Tiefen (um 5.000 m) (PK TG, 2007) von kristallinen Gesteinen und werden üblicherweise zur Stromproduktion genutzt.

#### **IV.II Tiefe Erdwärmesonden**

Tiefe Erdwärmesonden bilden eine Sonderform der tiefen Geothermie und werden in der Regel nur zur Wärmenutzung (ohne Stromerzeugung) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein geschlossenes System, welches die geothermische Energie in der Regel aus 400 - 1.000 m Tiefe fördert (GTV, 2011-3).

Innerhalb der Erdwärmesonde zirkuliert ein Wärmeträgermedium (meist Wasser oder Sole), welches die Wärme der umliegenden Gesteinsschichten aufnimmt und sie zur Oberfläche transportiert. Es besteht kein direkter Kontakt zwischen Wärmeträgermedium und dem umliegenden Erdreich. Das Wärmeträgermedium kann meist nur eine Temperatur weit unter der des umgebenden Gesteins annehmen (Kaltschmitt, Wiese, & Streicher, 2003). Sie können nur zur Wärmeversorgung eingesetzt werden (PK TG, 2007). Technisch gesehen können Tiefe Erdwärmesonden aufgrund ihrer geschlossenen Bauweise überall eingesetzt werden. In hydrogeologisch kritischen Gebieten, wie zum Beispiel Wasserschutzgebieten können rechtliche Hemmnisse auftreten (MUFV, 2012). Hier ist im Einzelfall zu prüfen, ob aus ökologischer Sicht eine Tiefe Erdwärmesonde errichtet werden kann.

#### **IV.III Potenziale der Tiefengeothermie**

Im Untersuchungsgebiet lässt die geringe Datenlage keine konkrete Aussage zu. Für die Tiefengeothermie lassen sich standortspezifische Aussagen zur Eignung nur sehr schwer treffen. Aufschluss über die geothermischen Potenziale können Daten vorliegender Bohrungen oder seismischer Untersuchungen („Altseismiken“) liefern. In Gebieten wie beispielsweise dem Norddeutschen Becken ist die Datenlage sehr gut, da hier in großem Umfang nach Bodenschätzen (vor allem Kohlenwasserstoffe) exploriert wurde. In den meisten Fällen ist die Datenlage jedoch deutlich schlechter als im Norddeutschen Becken. Aufgrund dessen lassen sich selten quantifizierbare Aussagen zu geothermischen Bedingungen im tiefen Untergrund treffen. Vor der Errichtung eines Geothermie-Standortes sind also immer standortspezifische Untersuchungen durchzuführen.

Sehr grobe Aussagen können mithilfe der Temperaturkarten des tiefen Untergrunds des Leibniz Institutes für angewandte Geophysik (LIAG, 2014) getroffen werden. Diese wurden

anhand der Daten von abgeteufte Bohrungen (Industrie- oder Forschungsbohrungen) erstellt und zeigen die Temperaturverteilung in Deutschland in einer Tiefe von 3.000 Metern.

Budenheim liegt im Gebiet des Mainzer Beckens in dem vermutlich ein erhöhter geothermischer Gradient besteht. Die Temperaturen in Thermalwasseraufstiegsgebieten in 3.000 m Tiefe liegen möglicherweise bei 110-120°C, sind jedoch sehr wenig erkundet (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2010). Nach den Temperaturkarten des LIAG sind Temperaturen in 3.000 m Tiefe von ca. 140-160°C möglich.



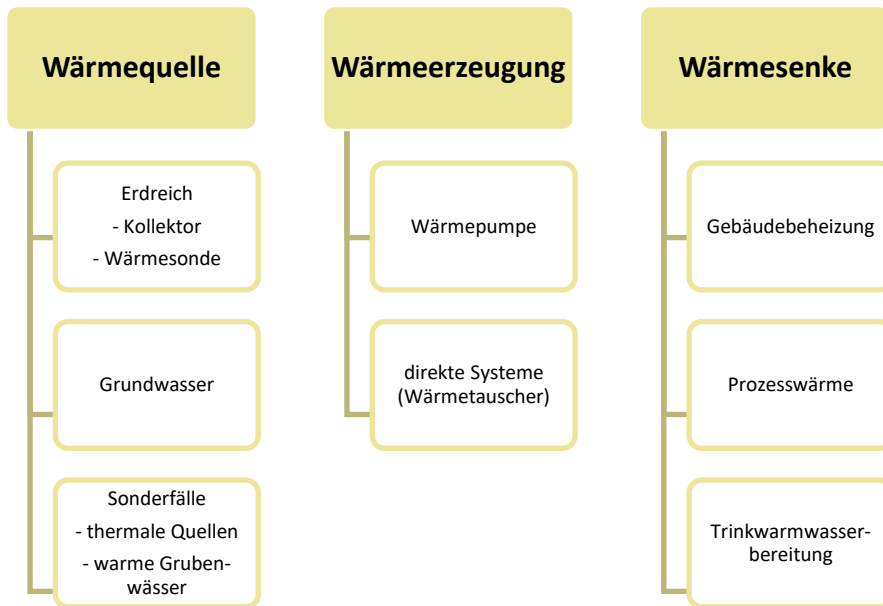
**Anhang Abbildung 1:** Temperaturkarte des LIAG für Budenheim in 3.000 m Tiefe (LIAG, 2014)

#### IV.IV Oberflächennahe Geothermie

Die Nutzung von Erdwärme bis zu einer Tiefe von 400 m wird unter dem Begriff oberflächennahe Geothermie zusammengefasst (PK TG, 2007). In diesem Anwendungsbereich wird Erdwärme auf vergleichsweise niedrigem Temperaturniveau erschlossen (< 20 °C). Diese kann zur Gebäudeheizung oder -kühlung eingesetzt werden. Aufsteigende Thermalwässer (>20 °C) stellen einen Sonderfall dar. Diese werden häufig balneologisch genutzt und stehen daher nur begrenzt für eine energetische Nutzung zur Verfügung. Teilweise besitzen sie jedoch auch ein großes Potenzial für die Nutzung als Heizmedium, insbesondere die vergleichsweise hoch vorliegenden Temperaturen des strömenden Mediums ermöglichen einen äußerst effizienten Betrieb der Wärmepumpe und damit einen vergleichsweise geringen Stromverbrauch.

Üblicherweise besteht ein System zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie aus drei Elementen: Wärmequellenanlage, Wärmepumpe und Wärmesenke (Kaltschmitt, Wiese, & Streicher, 2003).

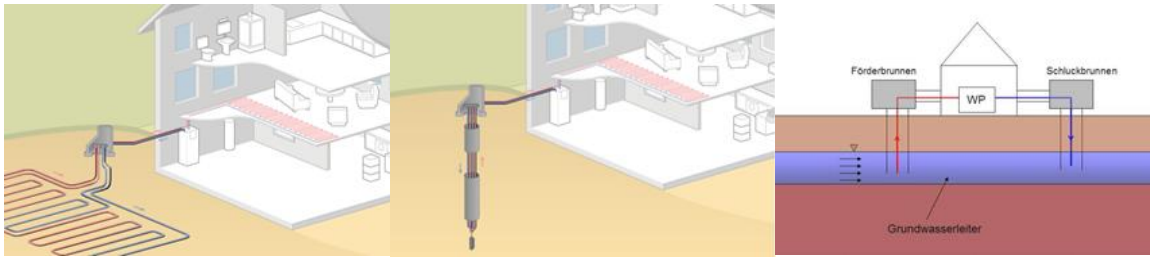
### Systeme zur Nutzung von Oberflächennaher Erdwärme



**Anhang Abbildung 2** Beispielhafte Systeme zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie

### Wärmequellenanlagen

Wärmequellenanlagen können als geschlossene oder offene Systeme ausgeführt werden. Geschlossene Systeme können vereinfacht in horizontal verlegte Erdwärmekollektoren und vertikale Erdwärmesonden unterschieden werden. Als offene Systeme werden Brunnenanlagen bezeichnet. Bei beiden Varianten zirkuliert ein Wärmeträgermedium (meist ein Wasser-Frostschutzmittelgemisch, wird auch als Sole bezeichnet) innerhalb des Systems. Dieses entzieht dem Erdreich die Wärmeenergie (Kaltschmitt, Wiese, & Streicher, 2003).



**Anhang Abbildung 3** Erdwärmekollektoranlage, Erdwärmesonde und Erdwärmennutzung mittels Grundwasser

**Erdwärmesonden** zeichnen sich durch einen vergleichsweise geringen Platzbedarf aus. Bei dieser Art von System werden vertikale Erdsonden mittels Bohrungen ins Erdreich gebracht. Der Einsatz von Erdwärmesonden ist die am weitesten verbreitete Methode, um Erdwärme zu erschließen. Je nach Wärmebedarf handelt es sich um eine oder mehrere Bohrungen bis üblicherweise 100 m tief abgeteuft. Erdwärmesondensysteme sind unabhängig von Witterungseinflüssen, da sie hauptsächlich Energie nutzen, die aus dem terrestrischen Wärmestrom stammt. Sie eignen sich ebenfalls zur passiven Gebäudetemperierung.

Die benötigte Bohrtiefe ergibt sich aus der Wärmeleitfähigkeit und der daraus resultierenden Wärmeentzugsleistung des Bodens. Beide Parameter variieren mit der geologischen Schichtfolge, der Wassersättigung des Erdreiches und der Tiefe.

**Grundwasserbrunnen** ermöglichen es, Erdwärme mittels eines offenen Systems zu nutzen. Die Grundwassertemperatur liegt das ganze Jahr über konstant bei etwa 8 - 12 °C. Daher arbeiten Wärmepumpen mit Grundwasser als Wärmequelle vergleichsweise effektiv (Ochsner, 2007).

Die Wärme kann hier direkt mit Grundwasser an die Oberfläche gefördert werden (keine indirekte Wärmeübertragung wie bei einer Erdwärmesonde). Mittels eines Brunnens wird das Grundwasser zutage gefördert und anschließend zum Verdampfer der Wärmepumpe geleitet. Nach der energetischen Nutzung folgt eine Wiedereinleitung des Grundwassers mittels eines Schluckbrunnens.

Es ist notwendig, ausreichend ergiebige Grundwasserleiter in nicht allzu großer Tiefe (max. ca. 15 m) vorzufinden. Überschlägig kann mit dem Kennwert 160 l/h je kW<sub>th</sub> der Wasserbedarf ermittelt werden (Ochsner, 2007).

**Erdwärmekollektoren** werden in geringer Tiefe (ca. 1-2 m unter der Erde) unterhalb der Frostgrenze verlegt. Ein Kollektorsystem hat einen vergleichsweise hohen Platzbedarf. Selbst bei energetisch optimierten Neubauten ist der Flächenbedarf immer höher als die zu beheizende Gebäudenutzfläche. Der entscheidende Faktor für die Auslegung der Kollektorfläche ist die

spezifische Entzugsleistung des Bodens. Sie reicht von 10 W/m<sup>2</sup> bei trockenem nicht bindigem Boden bis zu 40 W/m<sup>2</sup> bei wassergesättigtem Kies oder Sand (VDI 4640-2, 2001).

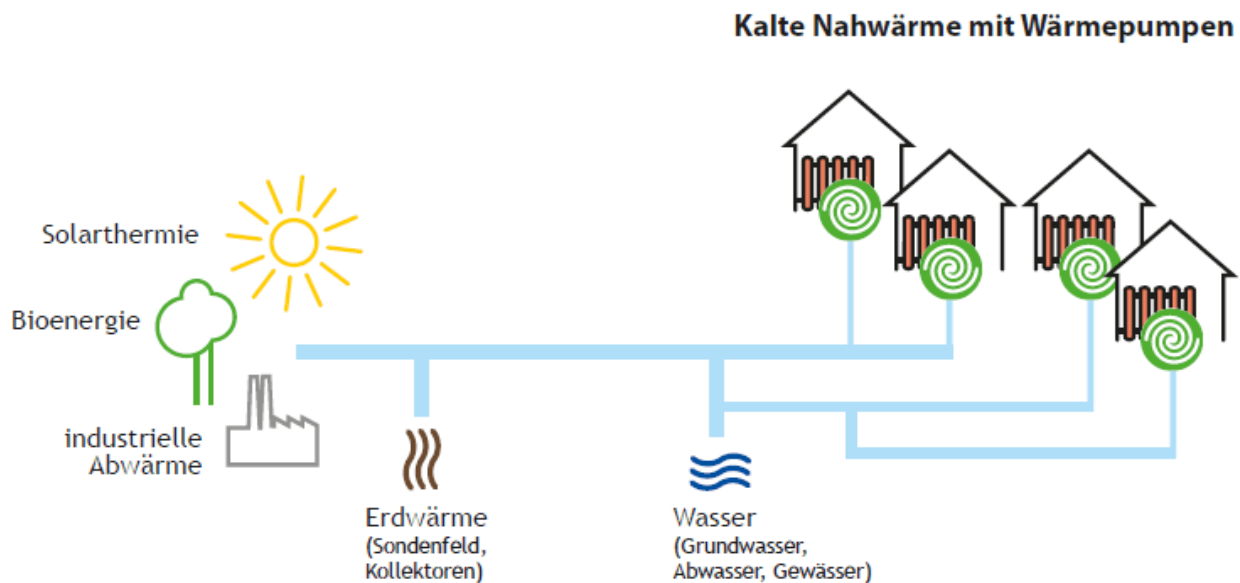
## **Kalte Nahwärme**

Nach dem Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich müssen alle Neubauten einen definierten Anteil ihres Wärmebedarfs mit Erneuerbaren Energien decken (§3 (EEWärmeG, Erneuerbare Energien Wärmegegesetz 2011, 2015)). Die Investitionskosten zur Erstellung eines Heizsystems mit Erdwärmesonden liegen über denen konventioneller Heizsysteme. Neubauten weisen bei Berücksichtigung der Erfordernisse der aktuellen Energieeinsparverordnung einen sehr niedrigen Wärmebedarf auf. Durch eine günstige Verbrauchersituation kleinerer Neubauten (beispielsweise Einfamilienhäuser) können mit der Erdwärme erzielte Verbrauchskosteneinsparungen die höheren Investitionen nicht immer ausgleichen. Daher amortisieren sich höhere Investitionen vor allem in Gebäuden mit höherem absolutem Wärmeverbrauch, im Neubaufall insbesondere in größeren Gebäuden. Alternativ zu den oft nicht wirtschaftlichen Erschließungen von Neubaugebieten mit (warmen) Nahwärmenetzen und dadurch, dass vielfach keine Verlegung von Erdgasinfrastruktur stattfindet, werden meist Luft/Wasser-Wärmepumpen installiert (vgl. Abbildung Absatzzahlen für Heizungswärmepumpen). Nachteile dieser Art der Wärmepumpe liegen jedoch in einer Geräuschentwicklung und einem geringeren Wirkungsgrad als Erd- und Wasserwärmepumpen.

Kalte Nahwärme stellt dezentralen Wärmepumpen eine im Vergleich zur Luft deutlich effizientere Wärme- und Kältequelle zur Verfügung. Kalte Nahwärmenetze unterscheiden sich von herkömmlichen Wärmenetzen durch das Temperaturniveau innerhalb des Verteilnetzes. Bei konventionellen Wärmenetzen liegt das Temperaturniveau ca. zwischen 70 und 90 °C in der Vorlaufleitung.

Bei kalten Nahwärmenetzen liegt das Temperaturniveau je nach Wärmequelle bei ca. 10 - 12 °C. Als Wärmequelle für das Wärmenetz können z.B. Erdwärme, Abwasser oder andere Abwärmeequellen mit einem niedrigen Temperaturniveau dienen. Das Wärmenetz wiederum dient als Wärmequelle für dezentrale Wärmepumpen in den zu versorgenden Gebäuden. Weiterhin kann das Netz zur passiven Kühlung der versorgten Gebäude verwendet werden. Neben dem Komforteffekt wird bei geothermischen Wärmequellen das Reservoir in den Sommermonaten durch die aus den Gebäuden abgeführte Wärmeenergie regeneriert.





**Anhang Abbildung 4** Schema kaltes Nahwärmenetz (BWP, 2019)

Kalte Nahwärmenetze sind insbesondere für Neubaugebiete oder Gebiete mit energetisch umfassend modernisierter Bebauung eine Chance. Durch die Kombination aus vergleichsweise hoher Wärmequellentemperatur der kalten Nahwärme und die in solchen Gebäuden vergleichsweise geringe Vorlauftemperatur der Heizung lassen sich hohe Effizienzwerte (Jahresarbeitszahlen größer 4) für die Wärmepumpen erreichen. Ein solcher Effizienzgewinn führt zu geringerem Stromverbrauch im Vergleich bspw. zur Luft/Wasser-Wärmepumpe und somit eingesparten Kosten, über die eine Finanzierung des Netzes ermöglicht wird.

Eine Herausforderung liegt jedoch in (unsanierten) Bestandsgebäuden. Diese weisen eine meist hohe Vorlauftemperatur der Heizung und einen höheren Wärmebedarf auf. Der dadurch höhere Stromverbrauch der Wärmepumpe führt zu höheren Stromkosten. Der Einsatz einer Wärmepumpe ist somit wirtschaftlich schwieriger als im Neubau. Würden die Stromnebenkosten sinken oder die Preise von Erdgas und Heizöl weiter ansteigen, würde dies die Installation einer Wärmepumpe begünstigen. Die Änderungen der politischen Rahmenbedingungen wurden bspw. im Rahmen der 90. Umweltministerkonferenz im Juni 2018 diskutiert. In deren Beschluss wird die Bundesregierung aufgefordert, insbesondere eine Senkung der finanziellen Belastung auf den Stromverbrauch anzugehen.

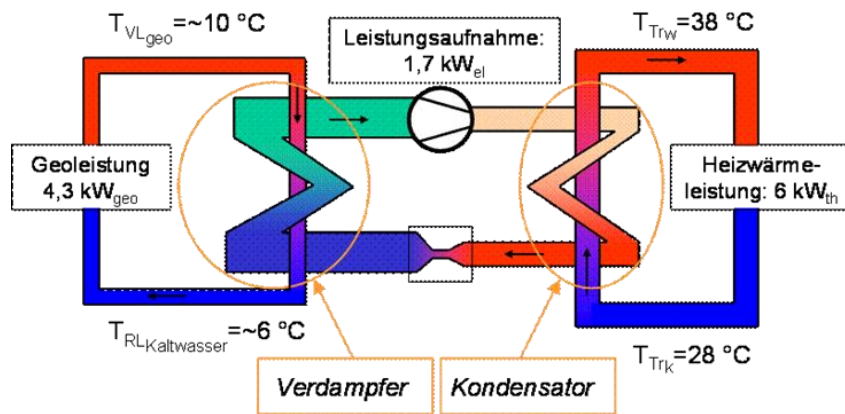
**Außenluft** als Wärmequelle ist die am einfachsten zu nutzende, da sie überall unbegrenzt zur Verfügung steht und ohne jede Genehmigung nutzbar ist. Die Außenluft wird durch einen Ventilator angesaugt, durch den Verdampfer der Wärmepumpe geblasen und der Luft dabei die Wärme entzogen (Ochsner, 2007).

**Sonstige:** Sonderfälle der Wärmequellen sind thermale Quellen und warme Grubenwässer, die unter Umständen ein hohes geothermisches Potenzial aufweisen können, sowie industrielle Abwärme und Abwasser. Der Anteil industrieller Abwärme wird im Klimaschutz-Planer für den Sektor Industrie auf ein durchschnittliches Potenzial von 40 % festgelegt. Je nach Industriebereich kann der Anteil des Endenergieeinsatzes, der als Abwärme genutzt werden kann, variieren.

#### **IV.V Wärmeerzeugung / Wärmepumpe**

Die zweite Systemkomponente einer Anlage zur Erdwärmenutzung ist eine Wärmepumpe. Wärmepumpen entziehen einem Trägermedium (Grundwasser, Sole oder (Außen-)Luft) Wärme auf vergleichsweise niedrigem Temperaturniveau und heben diese auf ein höheres Temperaturniveau. Man unterscheidet zwischen Kompressions- und Absorptionswärmepumpen. Da elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpen die am weitesten verbreitete Form der Wärmepumpe ist, wird auf das Funktionsprinzip dieser Art der Wärmepumpe eingegangen.

In Kompressionswärmepumpen zirkuliert ein Kältemittel, das bei sehr niedrigen Temperaturen verdampft. Am Verdampfer nimmt das Kältemittel die Erdwärme auf und wird dadurch verdampft. Über einen Verdichter wird der Druck (und damit auch die Temperatur des Arbeitsmittels) erhöht. Der Verdichter wird über einen Elektromotor angetrieben, der den wesentlichen Stromverbrauch einer Wärmepumpe aufweist. Am Kondensator gibt das Arbeitsmittel die Wärme an den Heizkreislauf ab und kondensiert. Über ein Expansionsventil wird das Arbeitsmittel entspannt (Druckreduktion), wieder abgekühlt und erneut zum Verdampfer geführt. Zur Veranschaulichung zeigt die nachfolgende Abbildung ein Schema einer solchen Anlage.

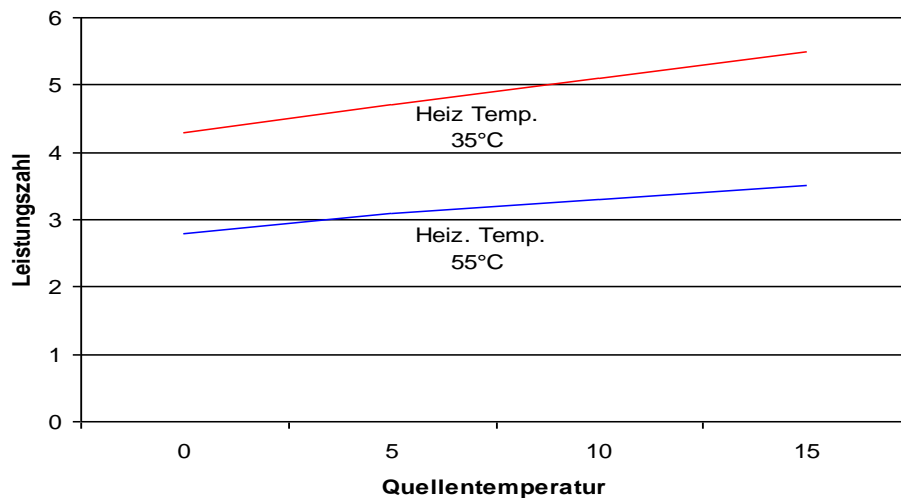


**Anhang Abbildung 5** Schema Kompressionswärmepumpe

Entscheidend für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe ist der Stromverbrauch. Mit steigender Effizienz der Wärmepumpe (insbesondere abhängig von der Wärmequellen- und SenkenTemperatur) nimmt der Stromverbrauch ab. Die Effizienz einer Wärmepumpe kann durch verschiedene Kennziffern bewertet werden. Der Coefficient of Performance (COP, Leistungszahl) gibt das Verhältnis (bei genormten Betriebsbedingungen) des abgegebenen Nutzwärmestroms, bezogen auf die elektrische Leistungsaufnahme des Verdichters, und weiterer Komponenten an.

Ein COP von 4 bedeutet z. B., dass aus 1 kW<sub>el</sub> (elektr. Leistung) und 3 kW<sub>geo</sub> (Umweltwärmeleistung) 4 kW<sub>th</sub> (Heizwärmeleistung) erzeugt werden. Je geringer der Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ausfällt, desto günstiger ist die Leistungszahl. In nachfolgender Abbildung wurde die Leistungszahl für verschiedene Heizsystemtemperaturen in Abhängigkeit von der Quellentemperatur aufgetragen.

### Beispielhafte Leistungskurve einer Wärmepumpe (200 kW)



**Anhang Abbildung 6** Beispielhafte Leistungskurve einer Sole-Wasser-Wärmepumpe in Abhängigkeit von Wärmequellen- und Senktemperatur

Quelle: eigene Darstellung TSB nach Herstellerangaben von (Waterkotte, 2009)

Die rote Linie stellt eine Leistungskurve für eine Heizsystemtemperatur (Vorlauf) von 35 °C dar, die blaue Linie symbolisiert eine Leistungskurve für eine Heizsystemtemperatur (Vorlauf) von 55 °C. Das Diagramm zeigt, dass bei einer geringeren Heizsystemtemperatur die Leistungszahlen bei gleicher Quelltemperatur immer höher sind, als die der höheren Heizsystemtemperatur.

Daher sind Wärmepumpen vor allem für energetisch optimierte Neubauten oder Altbauten mit Flächenheizsystem interessant, da diese eine niedrigere Vorlauftemperatur haben. Die Leistungszahl ist ein vom Hersteller der Wärmepumpen vorgegebener Kennwert und wurde unter Normbedingungen auf dem Prüfstand ermittelt. Sie definiert somit immer einen bestimmten Betriebspunkt.

Eine anwendungsbezogene Kennziffer für die Effizienz ist die Jahresarbeitszahl ( $\beta$ ). Diese gibt das Verhältnis der abgegebenen Nutzwärme, bezogen auf die eingesetzte elektrische Arbeit, für den Antrieb des Verdichters und der Hilfsantriebe (z. B. Solepumpe) über ein Jahr an (VDI 4640-1, 2010). Da die Jahresarbeitszahl auf realen Betriebsbedingungen basiert, ist sie immer etwas kleiner als die Leistungszahl. Die Jahresarbeitszahl bewertet den Nutzen der eingesetzten elektrischen Arbeit und ist somit das entscheidende Kriterium für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe.

## **Wärmesenke**

Das dritte Systemelement ist die Wärmesenke. Als Wärmesenke werden beispielsweise zu beheizende Gebäude, Wärmeverbrauch zur (Trink-)Wassertemperierung und Prozesse mit Wärmeverbrauch bezeichnet. Der für den Einsatz der Wärmepumpe ideale Verbraucher sollte einen relativ geringen Temperaturbedarf aufweisen, da so die Effizienz einer Wärmepumpe am höchsten ist. Zur Gebäudebeheizung eignen sich so vor allem Flächenheizungen, wie z. B. Wand- oder Fußbodenheizungen.

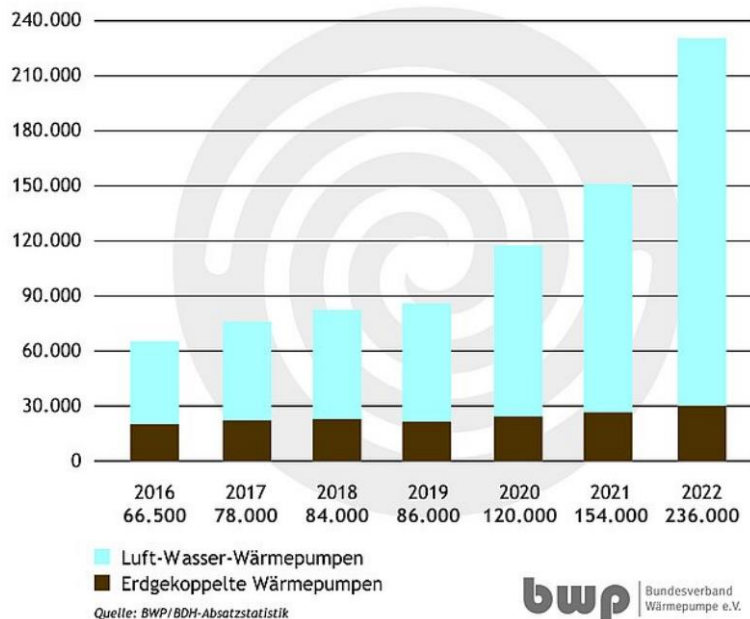
Es kommen vor allem Neubauten oder energetisch optimierte Altbauten in Frage. Zwar können moderne Wärmepumpen eine Heiztemperatur von bis zu 65 °C bereitstellen, jedoch ist die Effizienz dabei meist sehr gering, sodass der wirtschaftliche Betrieb einer Wärmepumpe oft erschwert ist.

## **IV.VI Bestand geothermischer Heizungssysteme**

In der Gemeinde Budenheim wurden 2019 ca. 213 MWh/a Strom für den Betrieb von Wärmepumpen benötigt. Über eine angenommene Leistungszahl von 4 ergibt das eine Wärmezeugung von ca. 850 MWh/a. Dies entspricht ca. 1 % des Wärmeverbrauchs der Region ohne den Sektor Industrie.

Dabei ist noch nicht aufgeschlüsselt, wie viel Energie durch erdgekoppelte Systeme und wie viel Energie durch Luft/Wasser Wärmepumpen bereitgestellt wird. Betrachtet man die Absatzzahlen der Jahre vor 2019 (s. nachfolgende Abbildung), lag der Anteil der verkauften erdgekoppelten Wärmepumpen im Schnitt bei ca. 30 %. Wird die gleiche Verteilung für die Gemeinde Budenheim angesetzt, kann eine Wärmebereitstellung von rund 260 MWh/a durch erdgekoppelte Wärmepumpen angenommen werden. Im Klimaschutz-Planer ist aufgrund des Basisjahres 2019 ein Anteil der Luft/Wasser-Wärmepumpen an der Umweltwärme von 60 % angegeben.

### Absatzzahlen für Heizungswärmepumpen in Deutschland 2016 bis 2022



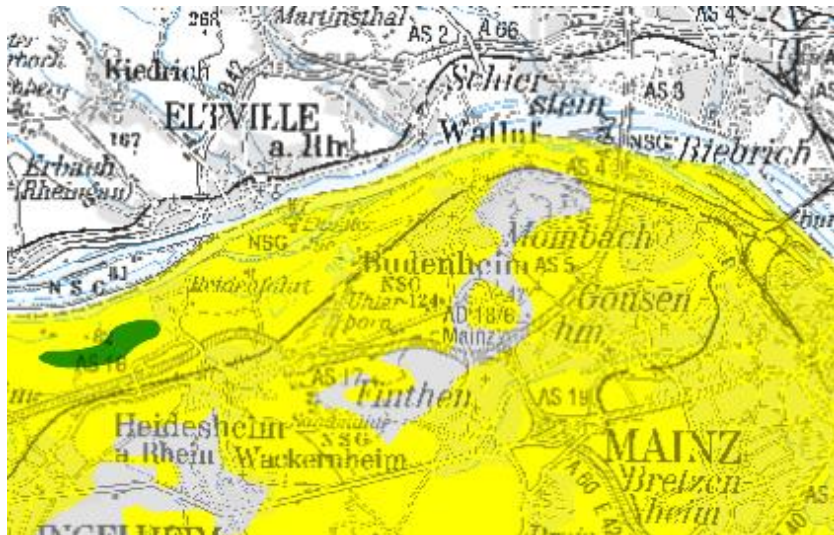
**Anhang Abbildung 7** Absatzzahlen Wärmepumpen (bwp, 2020)

#### IV.VII Potenziale der oberflächennahen Geothermie

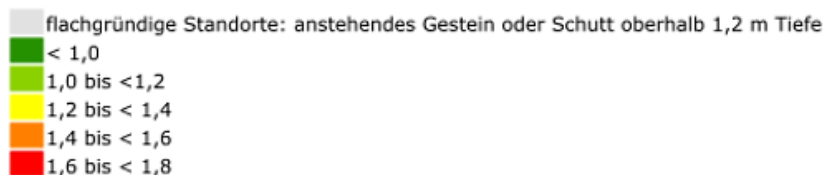
Für eine Beurteilung der geothermischen Potenziale eines Untersuchungsgebietes sind bestimmte Kriterien relevant, die eine Einschätzung hinsichtlich Eignung des Gebietes für die Errichtung von Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden oder der Erdwärmeförderung über Grundwasser erlauben. Im Bereich der Erdwärmekollektoren sind dies die Wärmeleitfähigkeit sowie der Wasserhaushalt der Böden und die damit verbundene Wärmeentzugsleitung. Je höher diese einzustufen ist, desto besser sind die Böden geeignet.

Um Erdwärme mittels Grundwasser zu fördern, ist eine hohe Grundwasserergiebigkeit in nicht allzu großer Tiefe erforderlich sowie für eine gute Eignung des Gebietes ein geringer Grundwasserflurabstand wichtig.

Nach (Landesamt für Geologie und Bergbau, 2019) liegt die Wärmeleitfähigkeit der Böden, die ein wichtiges Kriterium zur Dimensionierung von Erdwärmekollektoren ist, in der Gemeinde Budenheim überwiegend zwischen 1,2 und < 1,4 W/mK.



### Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

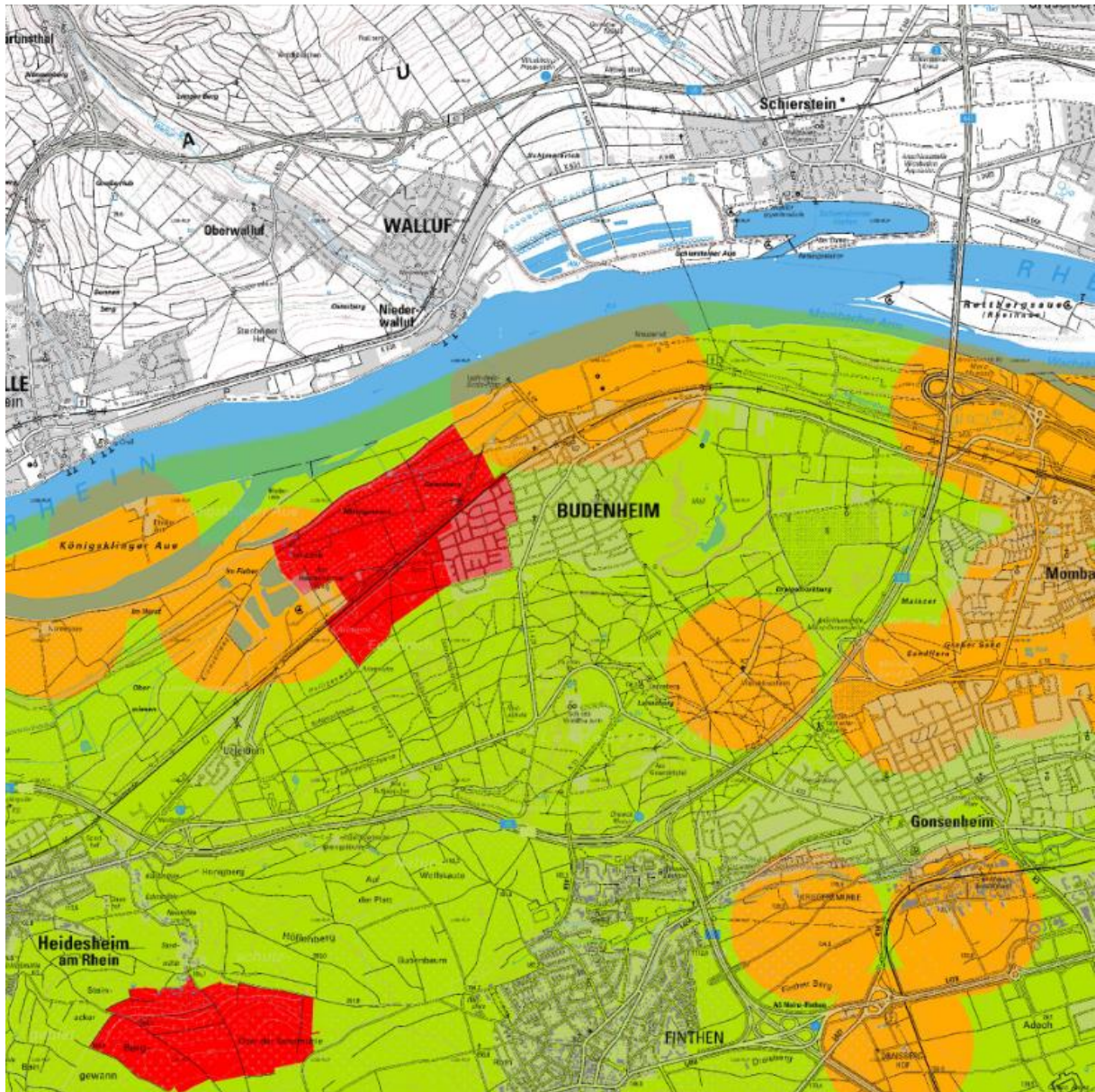


**Anhang Abbildung 8** Beispielhafte Wärmeleitfähigkeit der Böden in der Gemeinde Budenheim (Landesamt für Geologie und Bergbau, 2023)

Nach dem Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG, 2009) sind Handlungen zu vermeiden, die zu Beeinträchtigungen oder Schädigungen des Grundwassers führen (MUFV, 2012). Vor der Errichtung von Erdwärme-Sondenanlagen muss geprüft werden, ob diese in wasserwirtschaftlich genutzten oder hydrogeologisch kritischen Gebieten liegen (MUFV, 2012). In diesen kritischen Gebieten ist bei der Planung von Erdwärmesonden eine Bewertung durch die Fachbehörden notwendig (Regionalstellen WaAbBo der Struktur- und Genehmigungsdirektionen Nord und Süd, LfU oder LGB) (LUWG, 2007).

Der Bau von Erdwärmesonden ist in der Gemeinde Budenheim nach Abbildung 9 zum größten Teil mit Standardauflagen genehmigungsfähig (hellgrüne Fläche). Vereinzelt gibt es im Gemeindegebiet Bereiche, in denen Erdwärmesonden bei Einhaltung zusätzlicher Auflagen (orangene Fläche) genehmigungsfähig sind. Eine Fläche in Budenheim ist nicht für den Bau von Erdwärmesonden zugelassen (rote Fläche), da es sich hier um ein Wasserschutzgebiet handelt.





### Erdwärmesonden Standortbewertung

- Antragsablehnung
- Prüfung durch Fachbehörde(n)
- Antragszulassung (ggf. mit Auflagen)

**Anhang Abbildung 9** Standortbewertung zur Installation von Erdwärmesonden in der Gemeinde Budenheim Quelle: (Landesamt für Geologie und Bergbau, 2022)

### IV.VIII Ausbaupotenziale Geothermie



Für das Gebiet der Gemeinde Budenheim lässt die geringe Datenlage keine verlässliche Aussage zu Potenzialen im Bereich der Tiefengeothermie zu.

Zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie können geschlossene Systeme wie Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren im Großteil des Untersuchungsgebiets errichtet werden; aus wasserwirtschaftlichen / hydrogeologischen Gesichtspunkten sind Erdwärmesonden in einigen Bereichen nur in Ausnahmefällen genehmigungsfähig.

Das geothermische Potenzial wird im Klimaschutz-Planer über den Anteil der Raumwärme in privaten Haushalten aus Wärmepumpen abgebildet. Das Ergebnis sollte in diesem Bereich als Richtwert verstanden werden, da das tatsächlich vorhandene Potenzial individuell ermittelt werden muss. Weiterhin wird das Potenzial für Erdwärme über Erdsonden betrachtet. Einer Sondentiefe von 200 m wird eine spezifische Entzugsleistung von 40 W/m<sup>2</sup> zugewiesen. Pauschal werden Gebäude- und Grundwasserrestriktionen von 33 % sowie Infrastrukturrestriktionen von 40 % vorgegeben. Die Jahresarbeitszahl für Raumwärme beträgt 479 % sowie für Warmwasser 289 % (Klima-Bündnis, 2022). Über die statistisch hinterlegten Gesamtflächen lässt sich daraus ein theoretisches Ausbaupotenzial berechnen.

Hinsichtlich des konkreten Ausbaupotenzials können zwei Szenarien unterschieden werden. In dem Trend-Szenario werden Wärmepumpen in Anlehnung an bundesweite Ausbautrends im Sektor private Haushalte einen Anteil an der Raumwärme von 4 % bis 2030 und von 10 % bis 2045 aufweisen. Das Geothermie-Potenzial über Erdsonden wird anteilig ausgeschöpft, zu 6 % bis 2030 und zu 15 % bis 2045. Im Klimaschutz-Szenario wird der mögliche Anteil Raumwärme aus Wärmepumpen auf 15 % bis 2030 und 30 % bis 2045 festgelegt. Als technisches Potenzial wird ein theoretischer Anteil von 100 % definiert. Dabei wurde für das Basisjahr 2019 ein Anteil von Luft/Wasser-Wärmepumpen an der Umweltwärme von 60 % angenommen. Das Geothermie-Potenzial über Erdsonden wird im Klimaschutz-Szenario zu 25 % bis 2030 und zu 60 % bis 2045 ausgeschöpft. Weiterhin wird hinsichtlich der energetisch nutzbaren industriellen Abwärme im Trend-Szenario ein Anteil von 0,5 % (2030) bzw. 2 % (2045) und im Klimaschutz-Szenario 2 % (2030) bzw. 5 % (2045) festgelegt.

## **V. Wasserkraft**

Für die Nutzung von fließendem Gewässer ist in Budenheim kein nennenswertes Potenzial vorhanden.

## VI. Kraft-Wärme-Kopplung

### VI.I Bestandsanalyse KWK

In der Gemeinde Budenheim sind im Bilanzjahr 2019 einige Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung in Form von Blockheizkraftwerken (hauptsächlich mit Erdgas betrieben) entsprechend der Daten des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) installiert:

- Berliner Straße: 334 MWh/a
- Erwin Renth Zentrum: 590 MWh/a
- EV Heidesheimer/Mozartstraße: 242 MWh/a
- Grund- & Realschule: 626 MWh/a
- Hallenbad: 1.923 MWh/a
- Morgenstraße: 443 MWh/a
- Rathaus: 279 MWh/a
- Waldkita: 58 MWh/a

### VI.II Ausbauszenario KWK

Die Kraft-Wärme-Kopplung wird als Brückentechnologie in der zukünftigen Entwicklung der Energieversorgung verstanden. Im Zuge der Energiewende ändern sich die Rahmenbedingungen für den Einsatz von KWK-Anlagen, denn die erneuerbare Stromerzeugung wird zunehmen und gleichzeitig der Wärmeverbrauch in Gebäuden zurückgehen. Ein gewisser Grundstock an Anlagen wird auch bei verstärktem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung erforderlich sein. Für den Betrieb der KWK-Anlagen können u.a. die Potenziale der (gasförmigen) Biomasse genutzt werden.

Im Klimaschutz-Planer wird zwischen Objekt-KWK-Anlagen und mit KWK erzeugbarer Fern- und Nahwärme unterschieden. Letztere werden über die Temperaturniveaus differenziert. Fernwärme wird mit 130°C/70°C (Vorlauf/Rücklauf) und Netzverlusten von 15 % definiert, Nahwärme mit Netztemperaturen von 90°C/60°C und Netzverlusten von 10 %. Sofern diese Netze auch mit Solarthermie-Anlagen oder Abwärme gespeist werden, hat diese Wärme Vorrang. Unter Nahwärme werden im Klimaschutz-Planer lokale (KWK-)Anlagen für ein oder mehrere Gebäude verstanden, ohne dass eine Verlegung von Rohren oder Kabeln durch Straßen erfolgt.

Potenziale in der Nahwärme ergeben sich durch den Anteil der potenziell mit Nahwärme beheizbaren Gebäude mit 3-6 Wohnungen in den Sektoren GHD und private Haushalte. Im Trend-Szenario wird dieses Potenzial zu 25 % bis 2030 und zu 35 % bis 2045 genutzt, im Klimaschutz-Szenario werden 35 % der technisch verfügbaren Potenziale bis 2030 bzw. 60 % bis 2045 ausgeschöpft.

Potenziale in der Fernwärme werden zukünftig weder im Trend- noch im Klimaschutz-Szenario angenommen.

Hinsichtlich der mit KWK erzeugten Nahwärme werden die Szenarien mit 10 % (Trend 2030) bzw. 20 % (Trend 2045) Potenzialausschöpfung angelegt. Im Klimaschutz-Szenario wären es dann 20 % bis 2030 und 60 % bis 2045.

Bezüglich der Objekt-KWK-Anlagen von Gebäuden mit 1-2 Wohnungen der Sektoren GHD und private Haushalte wird im Trend-Szenario keine Änderung angegeben und im Klimaschutz-Szenario von 5 % bis 2030 bzw. 20 % bis 2045.

## VII. Verkehr / Mobilität

Eine rasche Senkung des Ausstoßes an klimaschädlichen Gasen ist angesichts der fortschreitenden Klimaerwärmung unverzichtbar. Ein Aktivitätenschwerpunkt muss im Bereich Verkehr liegen, der rund ein Viertel der gesamten Klimagas-Emissionen in Deutschland ausmacht und in den letzten Jahren unter allen Sektoren die geringsten Rückgänge zu verzeichnen hat. Im Gegenteil stieg der Energieverbrauch im Verkehrssektor im Jahr 2019 sogar leicht an, was durch eine Zunahme im Personen- und Gütertransport auf der Straße zu begründen ist. Dies überkompensiert die technischen Verbesserungen an den Fahrzeugen (Umweltbundesamt, 2021).

Der Klimaschutzplan der Bundesregierung sieht vor, die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor um 42-40 % bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 1990 zu senken (BMU, 2016). Zur Erreichung der Klimaschutzziele plant die Bundesregierung ordnungsrechtliche Maßnahmen gemäß EU-Gesetzgebung, wie die Festsetzung von Emissionsnormen, technologische Weiterentwicklung im Hinblick auf die Antriebsstruktur von Fahrzeugen und dem Kraftstoffmix sowie eine Verlagerung des Verkehrs auf emissionsarme bzw. emissionsfreie Verkehrsträger. Ein Anreiz u.a. für den Umstieg auf klimafreundliche Kraftstoffe wurde Anfang 2021 durch die Einführung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung geschaffen. Dabei wird auf Emissionen aus fossilen Brennstoffen ein fester Preis pro t CO<sub>2</sub>e erhoben. Zunächst kostet eine Tonne CO<sub>2</sub>e 25 Euro. Nach

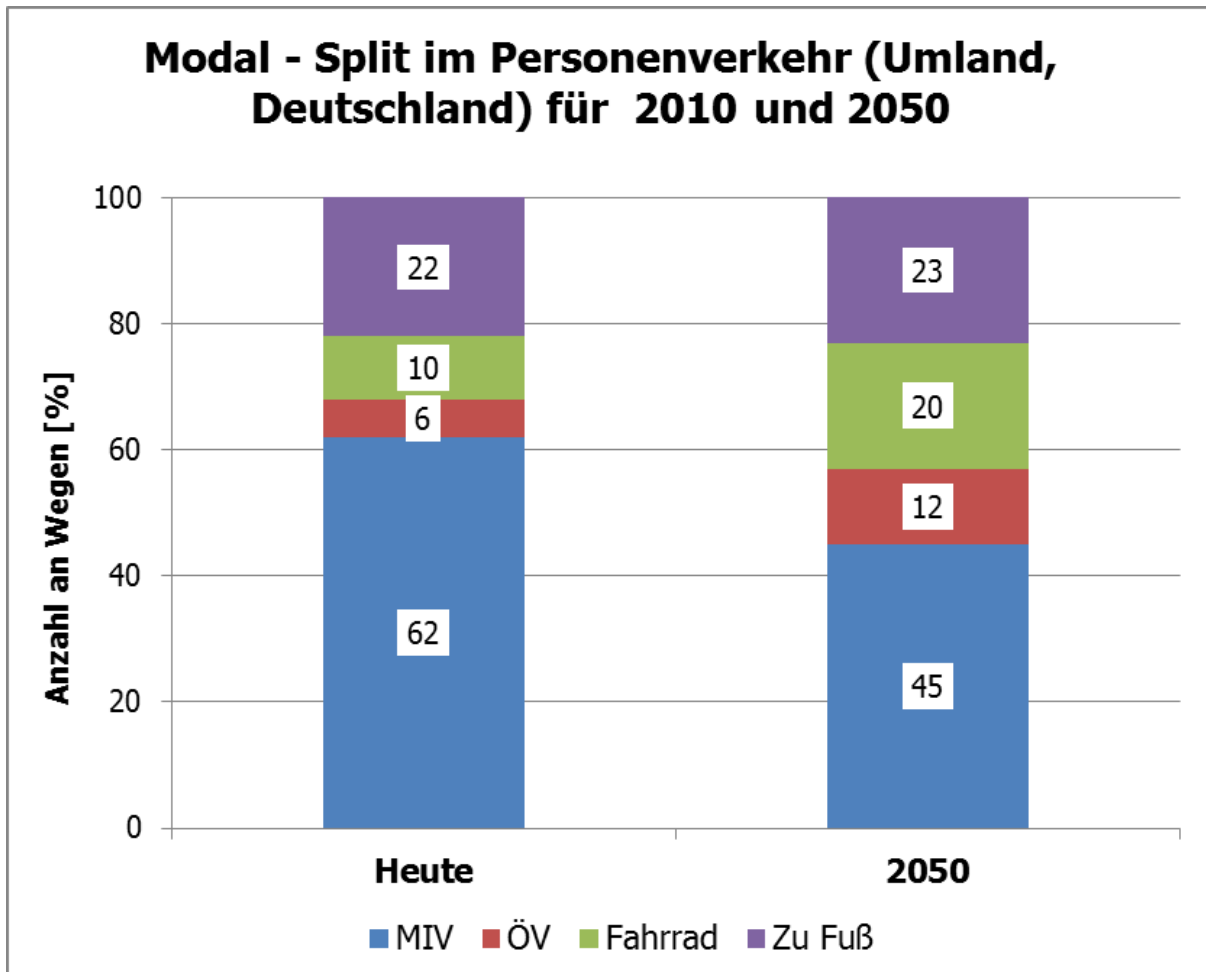
aktueller Planung sollen die Kosten bis zum Jahr 2026 schrittweise auf 55 bis 65 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>e angehoben werden (BMU, 2021).

Im Bereich Verkehr sind jedoch zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen, die nicht auf Bundesebene umgesetzt werden können. Neben Bürgerinnen und Bürgern sowie Unternehmen sind alle staatlichen Ebenen, insbesondere auch Kommunen gefordert, nachhaltige Aktivitäten vor allem zur Minderung des Verbrauchs an fossilen Energieträgern umzusetzen.

### **Bisherige Entwicklung des Modal-Shift und Weglängen in Deutschland**

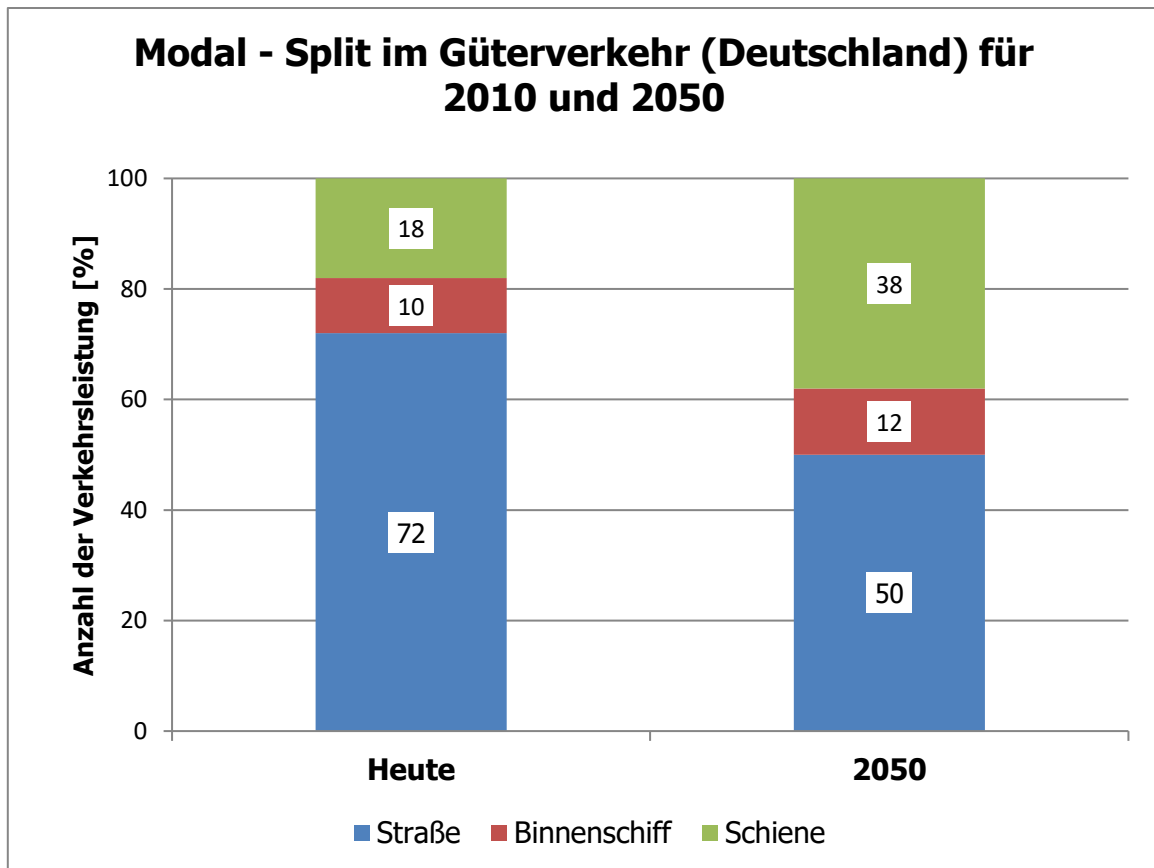
Der Modal-Shift beschreibt die Verkehrsverlagerung, im Personenverkehr weg vom MIV hin zu umweltfreundlichen Verkehrsmitteln wie z. B. den nicht motorisierten Individualverkehr oder dem ÖPNV. Aufgrund dessen, dass der Verkehr mit dem Fahrrad, zu Fuß oder mit dem ÖPNV insgesamt deutlich klima- und umweltfreundlicher ist als der MIV, ist der Modal-Shift, neben der Verkehrsvermeidung und der technischen Verbesserung von Fahrzeugen, eine weitere Möglichkeit den Verkehr in Zukunft umweltverträglicher zu gestalten.

Der Modal-Split für Deutschland im Urbanen Raum wurde anhand der Studie „Klimafreundlicher Verkehr in Deutschland, Weichenstellung bis 2050“ (WWF-Deutschland et. al, 2014) für das Jahr 2010 („Heute“) und für 2050 erhoben. Beim Betrachten der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass der MIV den Modal-Split mit einem Anteil von 62 % im Jahr 2010 dominiert. Des Weiteren machen Wege zu Fuß einen Anteil von 22 %, das Fahrrad 10 % sowie der ÖV noch einen Anteil von 6 % an den eingesetzten Verkehrsmitteln aus. Bis zum Jahr 2050 geht der Anteil des MIV am Modal-Split auf 45 % zurück. Demgegenüber verdoppelt sich der Anteil des Fahrrads auf 20 %. Der Anteil des ÖV verdoppelt sich zudem auf 12 %. Beim Zu-Fuß-Gehen ist ein leichter Zuwachs von 1 % zu verzeichnen. Hierdurch wird deutlich, dass sich, wie oben schon beschrieben, der Modal-Shift in Zukunft weg vom MIV, hin zu umweltverträglicheren Verkehrsmitteln verlagert. Dem Trend der Verkehrsverlagerung liegen einige Annahmen, wie zum Beispiel ein erhöhter Fahrradanteil (Ausbau von Radverkehrsnetzen, Park & Bike-Angebote sowie die Verbreitung von Pedelecs), gesteigerte Attraktivität des ÖPNVs oder die Erhöhung des Pkw-Besetzungsgrads, zugrunde.



**Anhang Abbildung 10** Modal - Split im Personenverkehr (Urbaner Raum, Deutschland) für 2010 und 2050

Wie aus der nachfolgenden Abbildung hervorgeht, wurden im Jahr 2010 im Güterverkehr mit 72 % fast drei Viertel der Verkehrsleistung auf der Straße erbracht. Die weiteren Anteile des Modal-Splits entfallen mit 18 % auf die Schiene und 10 % auf die Binnenschifffahrt. Bis zum Jahr 2050 wird davon ausgegangen, dass sich der Anteil des Güterverkehrs auf der Straße um ca. ein Viertel, auf 50 %, reduziert. Demgegenüber verdoppelt sich der Anteil der Verkehrsleistung des Schienenverkehrs auf rund 38 %. In der Binnenschifffahrt ist eine Steigerung von 2 % zu verzeichnen. Auch im Güterverkehr ist deutlich zu erkennen, dass es eine Verkehrsverlagerung weg von der Straße, hin zum umweltverträglicheren Schienenverkehr gibt. Den Szenarien liegen wieder einige Annahmen zugrunde. Diese sind beispielsweise eine kosten- seitige Stärkung des Schienen- und Schiffsverkehrs im intermodalen Wettbewerb, die Kapazität des Schienennetzes für den Güterverkehr wird erweitert sowie beim Verteilverkehr (z. B. Lieferdienste) kommen zunehmend batterieelektrische leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Lkw zum Einsatz.



**Anhang Abbildung 11** Modal - Split im Güterverkehr (Deutschland) für 2010 und 2050 (WWF-Deutschland et. al, 2014)

## VII.I Potenziale Verkehr

Die Umsetzung und Quantifizierung von Einsparpotenzialen im Bereich Verkehr gestaltet sich außerordentlich schwierig, da der Einfluss der Gemeinde Budenheim auf den Verkehrssektor als gering einzustufen ist. Dieser Effekt wird durch das im Klimaschutz-Planer verwendete Territorialprinzip nach BSKO-Standard verstärkt. Während bei technischen Maßnahmen mehr oder weniger unmittelbar auf Einsparpotenziale geschlossen werden kann, ist dies bei verhaltenssteuernden Maßnahmen nicht möglich. Zunächst stellt sich die Frage, welche generellen Ansätze zur Emissionsminderung bestehen. Im Folgenden werden diese beschrieben.

### 1. Verkehrsvermeidung

Bei der Vermeidung spielen der Besetzungsgrad und die Wegelänge eine Rolle. Durch einen höheren Besetzungsgrad lassen sich Fahrten im Motorisierten Individualverkehr (MIV) einsparen. Geeignete Maßnahmen liegen in:

- der Bildung von Fahrgemeinschaften
- Ausweitung von Home-Office
- der Optimierung von Alltagswegen (z.B. Verkettung von Wegezwecken wie Arbeiten und Einkaufen)
- Mobilitätsmanagement (Vermittlung klimafreundlichen Mobilitätsverhaltens)
- Mitfahrbörsen
- Car-Sharing
- etc.

Für das Einsparpotenzial maßgebend ist zudem die Länge der Wege, welche mit dem Kfz zurückgelegt werden. Entsprechende Maßnahmenansätze liegen z.B. in

- einer Förderung von intermodalen Wegeketten mit Umstieg von Kfz auf ein energieeffizienteres und umweltfreundlicheres Verkehrsmittel (z. B. Mitfahrerparkplätze, P & R, B & R) mit der Wirkung von kürzeren Kfz-Wegstrecken.
- Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung
- Maßnahmen im Bereich der Siedlungsentwicklung (z. B. kurze Wege durch die Nahversorgung)

## **2. Verkehrsverlagerung**

Die Verlagerung steht im Zusammenhang mit der Verkehrsmittelwahl. Dieser Handlungsansatz ist von hoher Bedeutung im Hinblick auf die Einsparung von CO<sub>2</sub>e-Emissionen. Das Ziel liegt hier im Erreichen

- eines höheren Anteils emissionsfreier Verkehrsmittel (Fahrrad, zu Fuß gehen)
- einer vermehrten Nutzung von CO<sub>2</sub>e-effizienteren Verkehrsmitteln (Bus/Bahn)

## **3. Verträgliche Abwicklung des Verkehrs**

Auch künftig wird die Personen- und Güterbeförderung im motorisierten Verkehr das Rückgrat der Verkehrsentwicklung in der Kommune darstellen. Zur Reduzierung des Endenergiebedarfs und der damit einhergehenden CO<sub>2</sub>e-Emissionen des Verkehrssektors wird daher dem Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zukünftig eine wichtige Rolle zukommen. Für die Betrachtung der Entwicklung des Verkehrs ist es sinnvoll, eine gemeinsame Datengrundlage mit den örtlichen Verkehrsbetrieben zu schaffen und ins Gespräch zu kommen. Hier kann es auch Handlungsziel sein, die Verkehre, die nicht vermieden oder verlagert werden können,

möglichst klimaverträglich abzuwickeln (Antriebsart und Verbrauch der Fahrzeuge). Zukünftig wird autonomes Fahren eine wichtige Rolle spielen. Weiche Maßnahmen wie z. B. Bürgertaxis, Bürgerautos, Car-Sharing-Modelle wären eher als Übergangs-Systeme einzuordnen. Daher sollten (gemeinsam mit den Verkehrsbetrieben) Betreiberstrukturen entwickelt werden, die zukünftig den ÖPNV mit autonomem Fahren organisieren. Der Bedarf hierfür könnte via Apps und Befragungen ermittelt werden.

#### **4. Technologische Entwicklungen**

Die wesentlichen Einsparungspotenziale im Bereich Verkehr werden vor allem infolge einer Verringerung der spezifischen CO<sub>2</sub>e-Emissionen durch technische Verbesserung im motorisierten Straßenverkehr und einer Steigerung der Effizienz zu erwarten sein (z. B. technologische Innovationen bei konventionellen Antrieben, Elektromobilität, etc.).

### **VII.II Szenarien Verkehr**

Nachfolgend werden die Szenarien des Verkehrssektors im Zeitraum zwischen 2019 und 2030 bzw. 2045 beschrieben. Als Grundlage für die Darstellung der Entwicklung des zukünftigen Endenergiebedarfs dienen die im Klimaschutz-Planer durch das IFEU hinterlegten Trendfaktoren (Klima-Bündnis, 2022). Diese geben die bisherige Entwicklung in zahlreichen verschiedenen Bereichen wieder, beispielsweise hinsichtlich der Verkehrsleistung und des Endenergieverbrauchs von Linienbussen und des Güterverkehrs oder des generellen Verkehrsaufkommens innerorts, außerorts und auf Autobahnen aufgeteilt nach Verkehrsmitteln. Diese Trends können in den verschiedenen Szenarien um unterschiedlich ambitionierte Entwicklungen in den Bereichen Effizienz, Verlagerung und Vermeidung ergänzt werden, sodass die Potenziale mehr oder weniger stark ausgeschöpft werden.

Es wird angenommen, dass in der Zukunft alle eingesetzten Antriebsarten deutliche Effizienzgewinne erzielen werden. Ein wesentlicher Treiber hierfür im PKW-Bereich sind in erster Linie die EU-Emissionsstandards. Die Effizienzgewinne werden vor allem durch ein Bündel verschiedener Technologien erzielt. Hierzu zählen unter anderem die kontinuierliche Weiterentwicklung des Antriebsstrangs und dessen immer weiter zunehmende Elektrifizierung sowie dem Leichtbau mit Hilfe von neuen Composite-Materialien. Diese Annahme trifft sowohl auf die heute überwiegend eingesetzten konventionellen Antriebe als auch auf Technologien zu, die erst in Zukunft vermehrt an Bedeutung gewinnen werden, wie beispielsweise der Elektroantrieb oder Power-to-Liquid. Diese Entwicklungen, neben weiteren Trends u.a. zur Verkehrs-



und Betriebsleistung, werden über die hinterlegten Trendfaktoren des IFEU abgebildet (Klima-Bündnis, 2022).

Für die unterschiedlichen Szenarien werden ergänzend zu den allgemeinen Trends Annahmen über die zukünftige Entwicklung getroffen. Für das Trend-Szenario werden in den Bereichen Effizienz, Verlagerung und Vermeidung geringe zusätzliche Änderungen angesetzt. So wird eine Steigerung des Stromanteils bei Pkw von 5 % bis 2030 bzw. 20 % bis 2045 sowie eine Reduktion des spez. Energiebedarfs im Pkw-Verkehr von 0,8 % angenommen. Im Klimaschutz-Szenario werden die theoretischen technischen Potenziale bis auf den Stromanteil bei PKW (40 % statt 50 %) und der Vermeidung von MIV (15 % statt 20 %) voll ausgeschöpft. Hinsichtlich der Effizienz wird eine Reduktion des spezifischen Energiebedarfs im PKW-Verkehr von 8 % bis 2045 angelegt. In der Verlagerung von MIV auf Rad und Fuß sowie der Verlagerung von MIV auf ÖPNV wird jeweils eine Änderung von 12 % erwartet. Zuletzt ist im Klimaschutz-Szenario eine Vermeidung des Güterverkehrs auf der Straße um maximal 5 % definiert worden. Hierbei ist zu beachten, dass im Klimaschutz-Planer (Klima-Bündnis, 2022) das Klimaschutz-Szenario auf die Einhaltung der übergeordneten Bundesziele ausgelegt ist .

### **Zu 5.2.1 CO<sub>2</sub>e-Emissionen der Trendszenarien 2019 bis 2045**

Für die Kalkulation, der durch die neuen Verbrauchswerte in den Zieljahren 2030 und 2045 verursachten Treibhausgase, müssen für die Bereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe diverse Annahmen getroffen werden. Dabei wird sich an aktuellen Trendentwicklungen, Erfahrungswerten und Studien für zukünftige Entwicklungen orientiert. Dennoch ist zu betonen, dass diese Annahmen keine sich ändernden Rahmenbedingungen beachten können und die Realität daher abweichen kann. Es wird jedoch eine unter aktuellem Kenntnisstand erwartete Richtung aufgezeigt.

Die Entwicklung der Emissionen des Strombereiches wurden für die Trendszenarien unter Einbezug des bundesweiten „Business as usual“-Strommixes (0,330 t CO<sub>2</sub>e/MWh) berechnet (Klima-Bündnis, 2022).

Die Entwicklung der Emissionen der Kraftstoffe wurde neben der Verbrauchsminderung über einen sich ändernden Kraftstoffmix berechnet. Dabei wurden dem Trend-Szenario vergleichsweise geringe Änderungen unterstellt, wie etwa die leichte Steigerung des Stromanteils bei Pkw.

Die Entwicklung der Emissionen des Wärmebereichs wurde ebenfalls neben der Verbrauchsminderung über einen neu verteilten Wärmemix berechnet. In den Trendszenarien fließen

dabei die angesetzten Ausbaupfade der erneuerbaren Energiequellen als auch allgemeine an das (Klima-Bündnis, 2022) angelehnte Trendentwicklungen ein.

## **Zu 5.2.2 CO<sub>2</sub>e-Emissionen der Klimaschutzszenarien 2019 bis 2045**

Für die Kalkulation, der durch die neuen Verbrauchswerte in den Zieljahren 2030 und 2045 verursachten Treibhausgase, müssen für die Bereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe diverse Annahmen getroffen werden. Dabei wird sich an aktuellen Trendentwicklungen, Erfahrungswerten und Studien für zukünftige Entwicklungen orientiert. Dennoch ist zu betonen, dass diese Annahmen keine sich ändernden Rahmenbedingungen beachten können und die Realität daher abweichen kann. Es wird jedoch eine unter aktuellem Kenntnisstand erwartete Richtung aufgezeigt.

Die Entwicklung der Emissionen des Strombereiches der Klimaschutzszenarien wurde unter Einbezug eines bundesweiten ambitionierten Strommixes (0,037 t CO<sub>2</sub>e/MWh) berechnet (Klima-Bündnis, 2022).

Die Entwicklung der Emissionen der Kraftstoffe wurde neben der Verbrauchsminderung über einen sich ändernden Kraftstoffmix berechnet. Dabei wurden den Klimaschutzszenarien Änderungen unterstellt, wie etwa eine ambitioniertere Steigerung des Stromanteils und eine Reduzierung der fossilen Kraftstoffe.

Die Entwicklung der Emissionen des Wärmebereichs wurde ebenfalls neben der Verbrauchsminderung über einen neu verteilten Wärmemix berechnet.

## Abbildungsverzeichnis Anhang

<b>Anhang Abbildung 1:</b> Temperaturkarte des LIAG für Budenheim in 3.000 m Tiefe (LIAG, 2014).....	- 28 -
<b>Anhang Abbildung 2</b> Beispielhafte Systeme zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie .....	- 29 -
<b>Anhang Abbildung 2</b> Erdwärmekollektoranlage, Erdwärmesonde und Erdwärmenutzung mittels Grundwasser.....	- 30 -
<b>Anhang Abbildung 3</b> Schema kaltes Nahwärmenetz (BWP, 2019) .....	- 32 -
<b>Anhang Abbildung 4</b> Schema Kompressionswärmepumpe .....	- 34 -
<b>Anhang Abbildung 5</b> Beispielhafte Leistungskurve einer Sole-Wasser-Wärmepumpe in Abhängigkeit von Wärmequellen- und Senktemperatur .....	- 35 -
<b>Anhang Abbildung 6</b> Absatzzahlen Wärmepumpen (bwp, 2020) .....	- 37 -
<b>Anhang Abbildung 7</b> Beispielhafte Wärmeleitfähigkeit der Böden in der Gemeinde Budenheim (Landesamt für Geologie und Bergbau, 2023) .....	- 38 -
<b>Anhang Abbildung 9</b> Standortbewertung zur Installation von Erdwärmesonden in der Gemeinde Budenheim Quelle: (Landesamt für Geologie und Bergbau, 2022) .....	- 39 -
<b>Anhang Abbildung 10</b> Modal - Split im Personenverkehr (Urbaner Raum, Deutschland) für 2010 und 2050.....	- 44 -
<b>Anhang Abbildung 11</b> Modal - Split im Güterverkehr (Deutschland) für 2010 und 2050 (WWF-Deutschland et. al, 2014).....	- 45 -

## **Tabellenverzeichnis Anhang**

<b>Anhang Tabelle 1</b> Bilanzierungsprinzipien; Quelle: (Difu, 2011) .....	- 2 -
<b>Anhang Tabelle 2</b> Einsparpotenziale Raumwärme bei entsprechenden Maßnahmen nach (Fraunhofer ISI, 2003).....	- 10 -
<b>Anhang Tabelle 3</b> Ergebnistabelle Dach-PV-Potenzial Gemeinde Budenheim (gerundete Werte) .	- 18 -

## Quellenverzeichnis

- BMUV. (2016). Klimaschutzplan 2050.  
[https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/aktionsbuendnis\\_klimaschutz\\_5\\_umsetzung\\_klimaschutzplan\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/aktionsbuendnis_klimaschutz_5_umsetzung_klimaschutzplan_bf.pdf) abgerufen 31.01.2023
- BMWK. (2021). Technische Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM) abgerufen 31.01.2023
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). (21. Dezember 2021). Bundesförderung für effiziente Gebäude - Förderprogramm im Überblick.  
[https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente\\_Gebaeude/Foerderprogramm\\_im\\_Ueberblick/foerderprogramm\\_im\\_ueberblick\\_node.html;jsessionid=7E97E1FAB62F5EECF9F527D6F95529BD.1\\_cid390](https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/Foerderprogramm_im_Ueberblick/foerderprogramm_im_ueberblick_node.html;jsessionid=7E97E1FAB62F5EECF9F527D6F95529BD.1_cid390) Abgerufen 31.01.2023
- BWP. (2017). Bundesverband Wärmepumpe e.V.  
[https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/bwp\\_service/Forum\\_Waermepumpe/Praesentationen/Vortrag\\_Stawiarski\\_Waermetagung\\_klein.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/bwp_service/Forum_Waermepumpe/Praesentationen/Vortrag_Stawiarski_Waermetagung_klein.pdf) Abgerufen am 31. 01 2023
- bwp. (2021). Absatzstzzahlen für Heizungswärmepumpen in Deutschland.  
<https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/positives-signal-fuer-den-klimaschutz-40-prozent-wachstum-bei-waermepumpen/#content> Abgerufen am 31.01.2023
- Difu. (2011). Klimaschutz in Kommunen. Praxisleitfaden .
- Energieagentur RLP. (13. September 2021). Datenservice der Energieagentur Rheinland-Pfalz im Rahmen des KomBiReK-Projektes.
- Energieagentur RLP. (2022). Solarkataster RLP. <https://solarkataster.rlp.de/start> Abgerufen 10.12.2022
- Fraunhofer ISI. (2003). Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch. Karlsruhe, München: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.
- GTV. (2011). Bundesverband Geothermie (GTV): Geothermisches Systemvon  
<https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/s/system-geothermisches.html> Abgerufen am 31.01.2023
- GTV. (2011-3). Bundesverband Geothermie (GTV): Tiefe Erdwärmesonden.  
<https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/t/tiefe-erdwaermesonde.html> Abgerufen am 31.01.2023
- Hamburg Institut . (2016). Planungs- und Genehmigungsleitfaden für Solarthermie-Freiflächenanlagen in Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. [https://www.hamburg-institut.com/wp-content/uploads/2021/07/Planungsleitfaden\\_Freiflaechen-Solarthermie.pdf](https://www.hamburg-institut.com/wp-content/uploads/2021/07/Planungsleitfaden_Freiflaechen-Solarthermie.pdf) Abgerufen 31.01.2023

- Kaltschmitt, M., Wiese, A., & Streicher, W. (2003). Kaltschmitt, M.; Wiese, A.; Streicher, W.: Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin 2003.
- Klima-Bündnis. (2022). Klimaschutz-Planer. Von [www.klimaschutz-planer.de](http://www.klimaschutz-planer.de)
- Klima-Bündnis der europäischen Städte mit indigenen Völkern der Regenwälder /Alianza del Clima e.V. (13. 07 2021). Klimaschutz-Planer Handbuch. <https://www.klimaschutz-planer.de/handbuch.php> Abgerufen 02.12.2023
- Landesamt für Geologie und Bergbau. (2022). Landesamt für Geologie und Bergbau Kartenviewer. [http://mapclient.lgb-rlp.de/?app=lgb&view\\_id=12](http://mapclient.lgb-rlp.de/?app=lgb&view_id=12) Abgerufen 01.02.2023
- Landesrecht Rheinland-Pfalz. (22. 12 2021). Landesverordnung über Gebote für Solaranlagen auf Ackerland- oder Grünlandflächen in benachteiligten Gebieten. <https://landesrecht.rlp.de/bsrp/document/jlr-BGebGr%C3%BCnSolAnIVRPrahmen> Abgerufen 31.01.2023
- LIAG. Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG): Geothermisches Informationssystem (GeotIS) <https://www.leibniz-liag.de/forschung/methoden/informationssysteme/geotis.html> Abgerufen 31.01.2023
- LUWG. (2007). Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG): Standardauflagen zum Bau von Erdwärmesonden in unkritischen Gebieten.
- MUFV. (Mai 2012). Leitfaden zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie mit Erdwärmesonden. Grundwasserschutz - Standortbeurteilung - Wasserrechtliche Erlaubnis: [https://www.lgb-rlp.de/fileadmin/service/lgb\\_downloads/erdwaerme/06\\_2012\\_leitfaden\\_erdwaerme.pdf](https://www.lgb-rlp.de/fileadmin/service/lgb_downloads/erdwaerme/06_2012_leitfaden_erdwaerme.pdf) Abgerufen 31.01.2023
- Ochsner, K. (2007). Wärmepumpen in der Heizungstechnik. Heidelberg.
- Paschen, Herbert; Oertel, Dagmar; Grünwald, Reinhard. (2003). Bericht: Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Büro für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag (TAB).
- PK TG. (2007). Personenkreis Tiefe Geothermie: Nutzung der geothermischen Energie aus dem tiefen Untergrund-Arbeitshilfe für die geologischen Dienste.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut. (2020). Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.
- Solarserver. (28. Mai 2021). Mieterstrom. <https://www.solarserver.de/wissen/basiswissen/mieterstrom/> Abgerufen 31.01.2023
- Statistisches Bundesamt. (2011). Ergebnisse des Zensus 2011. <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online/> Abgerufen am 01.12.2023
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz. (2022). Mein Dorf, meine Gemeinde: Gemeinde Budenheim. <https://infothek.statistik.rlp.de/MeineHeimat/content.aspx?id=103&l=3&g=0733900009&tp=46975> Abgerufen 30.01.2023

- Umweltbundesamt. (01. Juni 2021). Endenergieverbrauch und Energieeffizienz des Verkehrs.  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs#endenergieverbrauch-steigt-seit-2010-wieder-an> Abgerufen 12.12.2023
- VDI 4640-1 . (2010). Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI 4660 Blatt 1 Thermische Nutzung des Untergrundes .
- VDI 4640-2. (2001). Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI 4640 Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen.
- Waterkotte. (2009). Waterkotte Fachinformationen .
- WHG. (2009). Wasserhaushaltsgesetz .
- WWF-Deutschland et. al. (2014). Klimafreundlicher Verkehr in Deutschland, Weichenstellung bis 2050.