






Energie-Atlas Bayern – Mischpult „Energimix Bayern vor Ort“





Mischpult „Wärme“ Information zur Berechnung

Im Mischpult „Wärme“ werden folgende erneuerbare Energien und alternative Wärmequellen (nachfolgend „erneuerbare Energien“) in Form von Schiebereglern dargestellt:

Fern-/Nahwärme

-  Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“
-  Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“
-  Schieberegler „tiefe Geothermie“

Heizsystem im Gebäude

-  Schieberegler „oberflächennahe Geothermie“
-  Schieberegler „Solarthermie“
-  Schieberegler „Energie aus der Umgebungsluft“
-  Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“

Im Folgenden werden zunächst allgemeine Hinweise zur Darstellung des Potenzials und zum verwendeten Potenzialbegriff (siehe Hintergrundkasten) sowie zur angewandten Berechnungsgrundlage (siehe Kapitel 2) gegeben.

Am Beispiel einer Gemeinde werden anschließend die Berechnungsweisen der Schieberegler und für die technischen Wärmeerzeugungspotenziale erläutert (siehe Kapitel 3 bis Kapitel 9). Die Berechnung der Ergebnisse für Landkreise, Regierungsbezirke oder mehrere Verwaltungseinheiten wird nicht beschrieben. Diese Ergebnisse werden grundsätzlich aus den Einzelergebnissen der zugehörigen Gemeinden gebildet.

Hintergrund: Was ist das Mischpult?

Das Mischpult „Energiemix Bayern vor Ort“ ist eine Anwendung Energie-Atlas Bayern, um Kommunen für die Energienutzungsplanung zu sensibilisieren. Sie können zwischen dem **Mischpult „Strom“** und dem **Mischpult „Wärme“** wählen. www.energieatlas.bayern.de/kommunen/mischpult.html

Mit wenigen Klicks zeigt das Mischpult für ein ausgewähltes Gebiet (Gemeinde, Landkreis, Regierungsbezirk) die aktuelle und künftig mögliche Versorgungssituation mit erneuerbaren Energien an. Es ermöglicht, Szenarien für Energie- und CO₂-Äquivalente-Einsparungen oder für einen Energiemix aus erneuerbaren Energien auszuprobieren. Damit bietet das Mischpult eine erste Orientierung bei der Planung einer zukunftsfähigen und effizienten Energienutzung vor Ort.

Hinweis: Das Mischpult ersetzt keinen Energienutzungsplan, der eine fundierte gebietsbezogene Bestandsaufnahme, Potenzialanalyse oder Konzeptentwicklung benötigt, die für die Umsetzung zu entwickelnder Maßnahmen erforderlich sind.

1 Darstellung des Potenzials und verwendeter Potenzialbegriff

Das Mischpult „Wärme“ zeigt Ihnen technische Wärmeerzeugungspotenziale der Nutzung der festen Biomasse, der Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie, der tiefen und oberflächennahen Geothermie, der Solarthermie und der Energie aus der Umgebungsluft an. Das Potenzial aus tiefer Geothermie (hydrothermale Wärmergewinnung) kann nicht ausreichend verlässlich ermittelt und daher nicht angezeigt werden. Eine farbliche Markierung in den Säulen hinter dem Schieberegler zeigt den Anteil des technischen Potenzials der erneuerbaren Energie am Wärmebedarf in % an. Dies soll zur Orientierung und Prüfung dienen, ob die gewählte SchiebereglerEinstellung einem realistischen Szenario entspricht.

Für das Mischpult wird grundsätzlich ein technisches Potenzial berechnet. Neben der vorhandenen Siedlungsstruktur und Infrastruktur schränken technische Anforderungen (z. B. Wirkungsgrad der Anlage, Volllaststunden, Anlagengröße) und ökologische Aspekte (z. B. Schutzgebiete und -bereiche, Kleinstflächen, Nachhaltigkeit) das theoretisch verfügbare (Flächen-)Angebot für die Energienutzung ein.

Um das technische Potenzial nicht zu überschätzen, werden auch wirtschaftliche Aspekte (z. B. Dachausrichtung, Nutzungskonkurrenz, politische Rahmenbedingungen, Gebäudebaualter) einbezogen. Eine wirtschaftliche Gesamtbetrachtung, die nach KALTSCHMITT ET AL. (2014: 29) z. B. auch die Kosten und Abschreibungen der Technologie, die Preisentwicklung der fossilen Energieträger und Rohstoffe, konkurrierende Energiebereitstellungssysteme und die Veränderung politischer Rahmenbedingungen berücksichtigt, wird nicht geleistet.

Das umsetzbare Potenzial fällt immer kleiner aus als das technische Potenzial, da nach KALTSCHMITT ET AL. (2014: 29) neben den wirtschaftlichen Restriktionen auch andere Hemmnisse unter anderem bei der Markteinführung von Technologien, durch rechtliche und administrative Begrenzungen und durch geringe Akzeptanz der Bevölkerung von bestimmten Technologien berücksichtigt werden müssen (siehe Abb. 1).

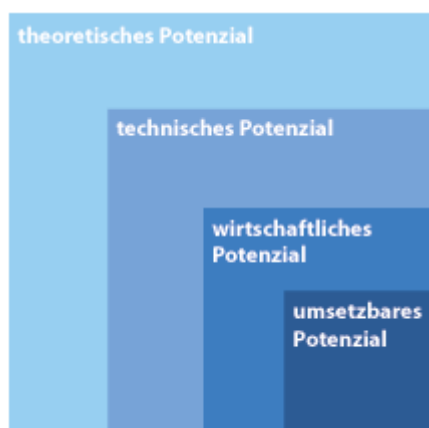


Abb. 1: Schematische Darstellung zur Abgrenzung der Potenzialbegriffe

Die Schieberegler können Sie auch über das Potenzial hinaus verschieben. Dies ist dann sinnvoll, wenn vor Ort zusätzliche Potenziale erkennbar sind. Diese können sich beispielsweise aufgrund interkommunaler Zusammenarbeit bei der Biomassenutzung, weiterer Abwärmequellen in der Industrie, eines geplanten Neubaugebietes oder von neuen effizienteren Technologien ergeben. Ein rot eingefärbter Schieberegler signalisiert Ihnen, dass Sie mit der gewählten Einstellung eine Potenzialüberschreitung nach den in den folgenden Kapiteln beschriebenen Berechnungsmethoden eingegangen sind.

2 Datengrundlage

Im Mischpult „Wärme“ werden mehrere Datenquellen verwendet. Um den Wärmebedarf zu ermitteln, werden aktuell bereitgestellte Daten des Bayerischen Landesamtes für Statistik und der bayerischen Vermessungsverwaltung verwendet (siehe [Informationen zu den Rahmendaten: Wärmebedarf](#)). Die Anlagendaten stammen aus unterschiedlichen Quellen (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Verwendete Quellen der Anlagendaten je Energieträger und Anlagentypen

Energieträger	Anlagentypen	Quellen der Anlagendaten
Biomasse für Heiz(kraft)werke	<ul style="list-style-type: none"> Biomasseanlage mit festem, flüssigem und unbekanntem Brennstoff 	<ul style="list-style-type: none"> Energie-Atlas Bayern, Detailinfo in der Infobox¹ der Karte „Biomasseanlagen“
Abwärme aus Biogasanlagen	<ul style="list-style-type: none"> Biomasseanlage mit gasförmigem Brennstoff 	<ul style="list-style-type: none"> Energie-Atlas Bayern, Detailinfo in der Infobox¹ der Karte „Biomasseanlagen“
Abwärme der Industrie	Es liegt kein ausreichender Datenbestand zur Nutzung industrieller Abwärme vor.	Es liegt kein ausreichender Datenbestand zur Nutzung industrieller Abwärme vor.
tiefe Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> Anlage für die hydrothermale Wärmegegewinnung 	<ul style="list-style-type: none"> Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik: „Geothermisches Informationssystem für Deutschland“
oberflächennahe Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> Sole-Wasser-Wärmepumpe Wasser-Wasser-Wärmepumpe sonstiger Typ 	<ul style="list-style-type: none"> BAFA: Förderstatistik zur Förderung von Wärmepumpen im Rahmen des MAP
Solarthermie	<ul style="list-style-type: none"> Flachkollektor Röhrenkollektor Speicherkollektor Hybridkollektor 	<ul style="list-style-type: none"> BAFA: Förderstatistik zur Förderung von Solarthermieanlagen im Rahmen des MAP
Energie aus der Umgebungsluft	<ul style="list-style-type: none"> Luft-Wasser-Wärmepumpe Direktkondensationswärmepumpe 	<ul style="list-style-type: none"> BAFA: Förderstatistik zur Förderung von Wärmepumpen im Rahmen des MAP
Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (5–100 kW)	<ul style="list-style-type: none"> Einzelfeuerstätten Zentralholzheizungsanlagen (handbeschickt, mit Pufferspeicher, mit Wassertasche) <ul style="list-style-type: none"> Scheitholzvergaserkessel Hackschnitzelkessel Primärofen Pelletofen und -kessel Kombianlage 	<ul style="list-style-type: none"> Berechnet in Abstimmung mit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) LfStat: Anzahl der Haushalte in Ein- und Mehrfamilienhäusern BAFA: Förderstatistik zur Förderung von Anlagen zur Verbrennung von fester Biomasse im Rahmen des MAP

¹ **Anleitung:** Im Menü des Kartenteils des Energie-Atlas Bayern finden Sie unter "Meine Kartenauswahl" neben jedem Eintrag ein Zahnrad-Icon. Klicken Sie darauf und anschließend auf den i-Button (blauer Kreis mit "i") darunter, dann öffnet sich die entsprechende Infobox. Im Reiter „Detailinfo“ finden Sie Informationen zu den Datenquellen sowie zu der Aktualität der Daten.

Stand der verwendeten Daten

31.12.2019

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert im Rahmen des Marktanreizprogramms (MAP) die Errichtung von Solarthermieanlagen, Anlagen zur Verbrennung von fester Biomasse und Wärmepumpen. Geförderte Anlagen werden dort mit ihrer Flächengröße oder Leistung registriert. Anlagen, für die kein Förderantrag gestellt oder deren Förderantrag abgelehnt wurde, sind beim BAFA nicht verzeichnet. Es gibt also auch installierte Anlagen, die dem BAFA nicht bekannt sind.

Im Mischpult „Wärme“ werden im Bereich oberflächennahe Geothermie, Solarthermie, Energie aus der Umgebungsluft und Zentralholzheizungsanlagen (Bestandteil des Schiebereglers Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (< 100 kW)) ausschließlich Daten von Anlagen verwendet, die vom BAFA zur Verfügung gestellt werden. Der im Mischpult „Wärme“ eingeblendete Ausbaustand für diese erneuerbaren Energien zeigt daher zum oben genannten Stichtag nur einen Teil der bereits errichteten Anlagen. Die wirkliche Flächengröße von Solarthermieanlagen oder die tatsächlich installierte Leistung von Anlagen zur Verbrennung von fester Biomasse und Wärmepumpen liegt daher höher als im Mischpult „Wärme“ angegeben wird (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Abweichung zwischen den auf Grundlage der BAFA-Daten berechneten Mischpult-Ergebnissen und den Angaben des IE Leipzig (2020) für das Jahr 2019

Energieträger	Wärmeerzeugung 2019, nach Mischpult, berechnet auf Grundlage der BAFA-Daten	Wärmeerzeugung 2019, nach IE Leipzig (2020)*	Abweichung, rund
Solarthermie	1.306 GWh/a	2.880 GWh/a	Faktor 2
oberflächennahe Geothermie	466 GWh/a	3.550 GWh/a	Faktor 5
Energie aus der Umgebungsluft	197 GWh/a		
Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen	14.177GWh/a	23.032 GWh/a	Faktor 2

*entspricht dem Endenergieverbrauch; für Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen umgerechnet mit einem Wirkungsgrad einer durchschnittlichen Feuerungsanlage in Höhe von 80 %

Eine Abschätzung über die tatsächliche Höhe der Flächengröße oder installierten Leistung ist für einzelne Gemeinden oder Landkreise nicht möglich. Für Bayern insgesamt kann aber eine Abweichung zwischen den Mischpult-Ergebnissen und den Angaben des Leipziger Instituts für Energie GmbH (IE Leipzig, 2020) aufgezeigt werden (siehe Tab. 2). Es wird angenommen, dass der tatsächliche Anlagenbestand regional unterschiedlich verteilt ist. Eine pauschale Übertragung auf Gemeindeebene wird daher nicht vorgenommen.

Für Anlagen, zu denen es keine Angabe zur Wärmeproduktion in den übrigen Datenquellen gibt, wird diese hochgerechnet. Für Anlagen, für die im BAFA-Datensatz keine Leistung angegeben ist, wird zudem ein spezifischer Kennwert angesetzt, der sich aus dem mittleren Wert aller bayerischen Anlagen des gleichen Heizungsanlagentyps ergibt (siehe Kapitel 6.2 und Kapitel 8.2).

Die Zahlen und Darstellungen im Mischpult „Wärme“, in der Anwendung „Recherche“ und in den Karten des Energie-Atlas Bayern liefern teilweise abweichende Ergebnisse. Dies erklärt sich durch die jeweilige Datenherkunft. Nähere Informationen zu möglichen Abweichungen erhalten Sie in der Hilfe zum

Kartenteil des Energie-Atlas Bayern unter dem Menüpunkt „[Allgemeines und Häufige Fragen > Häufig gestellte Fragen](#)“. Mögliche Differenzen bei der Summenbildung in nachfolgend dargestellten Beispielrechnungen sind auf Rundungen in den Berechnungsstufen zurückzuführen.

3 Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“

Der Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ umfasst Biomasseanlagen mit festem (Biomasseheizwerke, Biomasseheizkraftwerke), flüssigem (Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke) und unbekanntem Brennstoff. Biomasseanlagen mit gasförmigem Brennstoff werden im Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“ (siehe Kapitel 4) berücksichtigt. Abfallheiz(kraft)werke werden im Mischpult nicht berücksichtigt, da derzeit keine detaillierten Daten vorliegen.

Im Mischpult werden Biomasseanlagen mit flüssigem und unbekanntem Brennstoff, die Strom und Wärme erzeugen, wie „Biomasseheizkraftwerke“ behandelt, da keine geeigneten Parameter für diese Anlagen zur Verfügung stehen. Der Datenstand zu Anlagen mit unbekanntem Brennstoff wird derzeit überprüft, um den Anlagen künftig einen bestimmten Brennstofftyp (gasförmig, fest, flüssig) direkt zuordnen zu können. Durch die bisherige Zuordnung wird die Wärmeproduktion der Biogasanlagen bayernweit betrachtet leicht unterschätzt und die bereits genutzte Energieholzmenge überschätzt. Bei der Betrachtung einzelner Gemeinden kann sich durchaus eine deutlich höhere Abweichung ergeben.

Die Startposition des Schiebereglers „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Biomasse für Heiz(kraft)werke am Wärmebedarf in der ausgewählten Gemeinde in % an. Wenn Sie den Regler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Biomasse ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials aus Energieholz (siehe Kapitel 3.6).

Für den Zubau im Szenario werden derzeit ausschließlich Biomasseheizwerke berücksichtigt.

3.1 Wie viel Wärme (MWh_{th}/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion bestehender Biomasseheizwerke ergibt sich durch die Multiplikation der Nennwärmeleistung (siehe Kapitel 3.2) mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl in Höhe von 3.303 h/a nach HIENDLMEIER (2019: 2).

Für Biomasseheizkraftwerke wird die Wärmeproduktion mithilfe des elektrischen Wirkungsgrades in Höhe von 24 % nach BIFA UMWELTINSITUT GMBH (2015 a) und des thermischen Wirkungsgrades in Höhe von 56 % nach BIFA UMWELTINSITUT GMBH (2015 b) aus der Stromproduktion der Anlage berechnet. Die Stromproduktion bestehender Biomasseheizkraftwerke wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern (vgl. Kapitel 2) übernommen.

Die so ermittelte Wärmeproduktion der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die aktuelle Wärmeproduktion aus Biomasse für Heiz(kraft)werke pro Gemeinde.

Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Wärmebedarf und dem gewünschten, am Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Wärmeproduktion aus Biomasseheiz(kraft)werken für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 148.427 MWh_{th}/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 5.937 MWh_{th}/a

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Heiz(kraft)werke		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4%	5.937	-	5.937
Vollständig	100%	5.937	142.490	148.427
technisches Potenzial	5%	5.937	1.484	7.421

3.2 Wie viel Leistung (MW_{th}) ist installiert?

Ist-Stand:

Die Nennwärmeleistung der bestehenden Biomasseheizwerke wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern (vgl. Kapitel 2) übernommen. Sofern für Anlagen keine thermische Nennleistung aufgeführt ist, wird diese errechnet. Dazu wird die eingetragene Feuerungswärmeleistung mit einem durchschnittlichen Kesselwirkungsgrad in Höhe von 87 % nach BLESLE ET AL. (2004) multipliziert.

Die Nennwärmeleistung der bestehenden Biomasseheizkraftwerke ergibt sich durch Division der Wärmeproduktion (vgl. Kapitel 3.1) durch die durchschnittliche Volllaststundenzahl der bayerischen Biomasseheizkraftwerke in Höhe von 5.346 h/a nach eigener Berechnung.

Die so ermittelte thermische Nennleistung der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die im Ort installierte Nennwärmeleistung von Biomasseheiz(kraft)werken.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Wärmeproduktion, die durch Biomasseheizwerke erzeugt werden soll, und der durchschnittlichen Volllaststundenzahl in Höhe von 3.303 h/a nach HIENDLMEIER (2019: 2) wird die zusätzliche thermische Nennleistung von neuen Biomasseheizwerken berechnet.

Die zusätzliche Wärmeproduktion, die durch neue Biomasseheizwerke erzeugt werden soll, lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ neu eingestellten Wärmeproduktion (vgl. Kapitel 3.1) und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der Nennwärmeleistung der bestehenden Biomasseheiz(kraft)werke und der zusätzlichen Nennwärmeleistung von neuen Biomasseheizwerken gebildet. Es wird die künftige thermische Nennleistung von Biomasseheiz(kraft)werken angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Wärmebedarf durch den Einsatz von Biomasseheiz(kraft)werken zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 148.427 MWh_{th}/a
- Wärmeproduktion der bestehenden Biomasseheizkraftwerke: 5.937 MWh_{th}/a
- Nennwärmeleistung der Bestandsanlagen: 2.130 kW_{th}
- durchschnittliche Volllaststundenzahl von Biomasseheizwerken: 3.303 h/a (Zubau im Szenario)

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Heiz(kraft)werke		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a			Nennwärmeleistung in MW _{th}		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4%	5.937	-	5.937	2,130	-	2
Vollständig	100%	5.937	142.490	148.427	2,130	43,140	45
technisches Potenzial	5%	5.937	1.484	7.421	2,130	0,450	3

3.3 Wie viel Strom (MWh_{el}/a) wird für den Betrieb der Anlagen benötigt?

Der Strombedarf eines Biomasseheizwerkes resultiert nach KRAPF (2000: 53) aus dem Hilfsenergiebedarf aller elektrischen Komponenten: elektrischer Antrieb, Gebläse, Pumpe, Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik, Ventile. Ähnliche elektrische Komponenten können auch für ein Biomasseheizkraftwerk angenommen werden.

Der Hilfsenergiebedarf kann sich auf die erzeugte oder auf die verteilte Wärmemenge der Anlage beziehen. Derzeit liegen keine einheitlichen Parameter des durchschnittlichen Hilfsenergiebedarfs von Biomasseheizwerken und Biomasseheizkraftwerken vor. Daher kann der Strombedarf für Biomasseheiz(kraft)werke nicht berechnet werden.

3.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO₂-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen² für eine Kilowattstunde Wärme liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2019 bei 313,5 g CO₂-Äq. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Wärmeerzeugungstechnologien nach LAUF ET AL. (2019) und ZERHUSEN ET AL. (2015) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Wärmeerzeugung im Jahr 2019 nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020) und dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2021). Bei der Wärmeerzeugung aus fester Biomasse, die Biomasseheiz(kraft)werken zugeführt wird, werden 32,3 g CO₂-Äq./kWh_{th} nach LAUF ET AL. (2019: 98f) emittiert.

Die Differenz aus den CO₂-Äq.-Emissionen des deutschen Wärmemix und der Biomasseheiz(kraft)werke ergibt die durch die Produktion einer Kilowattstunde Wärme eingesparte Menge. Dieser spezifische Vermeidungsfaktor beträgt demnach 281,2 g CO₂-Äq./kWh_{th}.

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 3.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 281,2 g CO₂-Äq./kWh_{th} ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden Biomasseheiz(kraft)werken eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden Biomasseheiz(kraft)werken.

² Neben Kohlendioxid (CO₂) sind auch Methan und Lachgas wichtige Treibhausgase. Der Beitrag dieser Treibhausgase zur globalen Erwärmung ist jedoch sehr unterschiedlich. Die gesamte Klimawirksamkeit der verschiedenen Treibhausgas-Emissionen wird in CO₂-Äquivalenten (CO₂-Äq.) zusammengefasst. Das Äquivalent beschreibt die Klimawirksamkeit aller Treibhausgas-Emissionen im Verhältnis zur der Wirksamkeit von CO₂. Beispielsweise hat ein Kilogramm Methan die 25-fache Wirkung auf die globale Erwärmung im Vergleich zu einem Kilogramm CO₂.

Szenario:

Das Produkt aus der Wärmeproduktion von neuen Biomasseheizwerken (vgl. Kapitel 3.1) und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 281,2 g CO₂-Äq./kWh_{th} ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher Biomasseheizwerke.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende Biomasseheiz(kraft)werke und zusätzliche Biomasseheizwerke vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 148.427 MWh_{th}/a
 - Wärmeproduktion der bestehenden Biomasseheizkraftwerke: 5.937 MWh_{th}/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor
- Biomasseheiz(kraft)werk: 281,2 g CO₂-Äq./kWh_{th}
= 0,2812 t CO₂-Äq./MWh_{th}

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Heiz(kraft)werke		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a			CO ₂ -Äq.-Einsparung in t CO ₂ -Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4%	5.937	-	5.937	1.669,5	-	1.669
vollständig	100%	5.937	142.490	148.427	1.669,5	40.068,2	41.738
technisches Potenzial	5%	5.937	1.484	7.421	1.669,5	417,3	2.087

3.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Als spezifischer Flächenbedarf (inklusive Waldfläche) werden für Biomasseheizkraftwerke 0,072 ha/MWh_{th} angesetzt. Dieser Faktor ergibt sich aus dem Kehrwert der thermischen Energie pro Waldfläche in Höhe von 13,959 MWh_{th}/ha. Die thermische Energie pro Waldfläche wird aus dem Energiegehalt aus forstwirtschaftlicher Biomasse pro Waldfläche in Höhe von 24,926 MWh/ha (berechnet aus Angaben zum jährlichen Zuwachs nach THÜNEN-INSTITUT (2012 a), zur Raumdichte nach KNIGGE ET AL. (1966) und zum Heizwert nach HARTMANN ET AL. (2013: 50) und zur Waldfläche in Bayern nach THÜNEN-INSTITUT (2012 b)) und einem thermischen Wirkungsgrad von Biomasseheizkraftwerken in Höhe von 56 % nach BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015 a) berechnet.

Für Biomasseheizwerke wird ein spezifischer Flächenbedarf (inklusive Waldfläche) in Höhe von 0,046 ha/MWh_{th} verwendet. Dieser Faktor ergibt sich aus dem Kehrwert der thermischen Energie pro Waldfläche in Höhe von 21,686 MWh_{th}/ha. Die thermische Energie pro Waldfläche wird aus demselben Energiegehalt aus forstwirtschaftlicher Biomasse pro Waldfläche und einem Kesselwirkungsgrad von Biomasseheizwerken in Höhe von 87 % nach BIOMASSE-HEIZKRAFTWERK PFAFFENHOFEN GMBH (o. J.) berechnet.

Aufgrund des geringeren thermischen Wirkungsgrades ist der spezifische Flächenbedarf für Biomasseheizkraftwerke höher als der spezifische Flächenbedarf von Biomasseheizwerken.

Ist-Stand:

Um den Flächenbedarf der bestehenden Biomasseheizkraftwerke zu berechnen, wird zunächst die Wärmeproduktion ausgerechnet, die mit Waldholz erzeugt wird. Dazu wird der Anteil von Waldholz am Brennstoffmix eines Biomasseheizkraftwerkes in Höhe von 22 % nach GÖßWEIN ET AL. (2020: 98) mit der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen multipliziert (vgl. Kapitel 3.1). Die durch Waldholz erzeugte Wärmemenge wird dann mit dem spezifischen Flächenbedarf von Biomasseheizkraftwerken in Höhe von 0,072 ha/MWh_{th} multipliziert.

Genauso wird bei der Berechnung des Flächenbedarfs für Biomasseheizwerke verfahren. Der Anteil von Waldholz am Brennstoffmix eines Biomasseheizwerkes beträgt 35 % nach GÖßWEIN ET AL. (2020: 98). Die durch Waldholz erzeugte Wärmemenge wird dann mit dem spezifischen Flächenbedarf von Biomasseheizwerken in Höhe von 0,046 ha/MWh_{th} multipliziert.

Der so ermittelte Flächenbedarf der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die Waldfläche, die für die Befuerung der örtlichen Biomasseheiz(kraft)werke benötigt wird.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Wärmeproduktion, die durch Biomasseheizwerke erzeugt werden soll, und dem Flächenbedarfsfaktor in Höhe von 0,046 ha/MWh_{th} wird der zusätzliche Flächenbedarf berechnet.

Die zusätzliche Wärmeproduktion, die durch neue Biomasseheizwerke erzeugt werden soll, lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ neu eingestellten Wärmeproduktion (vgl. Kapitel 3.1) und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Die Waldfläche, die insgesamt für die Befuerung der örtlichen Biomasseheiz(kraft)werke benötigt wird, entspricht der Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des zusätzlichen Flächenbedarfs neuer Biomasseheizwerke.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 148.427 MWh_{th}/a
 - Wärmeproduktion der bestehenden Biomasseheizkraftwerke: 5.937 MWh_{th}/a
- spezifischer Flächenbedarf
- Biomasseheizkraftwerke: 0,072 ha/MWh_{th} (Bestand)
 - Biomasseheizwerke: 0,046 ha/MWh_{th} (Bestand und Zubau im Szenario)

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Heiz(kraft)werke		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a			Benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4%	5.937	-	5.937	94,0	-	94
Vollständig	100%	5.937	142.490	148.427	94,0	2.294,1	2.388
technisches Potenzial	5%	5.937	1.484	7.421	94,0	23,9	118

3.6 Technisches Wärmeerzeugungspotenzial der Energieholznutzung

Das technische Wärmeerzeugungspotenzial der Energieholznutzung in einer Gemeinde umfasst das in bestehenden Biomasseheiz(kraft)werken (vgl. Kapitel 3.1) und Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen (siehe Kapitel 9.1) bereits genutzte Energieholz einer Gemeinde und das zusätzliche, lokal noch ungenutzte Energieholz, das im Mischpult ausschließlich neuen Biomasseheizwerken und Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen zugeführt wird (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials der Energieholznutzung in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Energieholznutzung	Annahmen für das zusätzliche, lokal noch ungenutzte Energieholz
<p>Bestand, genutztes Energieholz – bereits vor Ort erzeugte Wärme aus bestehenden Biomasseheiz(kraft)werken und Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen</p> <p>+</p> <p>zusätzliches, lokal noch ungenutztes Waldholz – Wärmeproduktion, die sich aus der Differenz zwischen dem örtlichen Energiepotenzial aus Waldholz und dem in allen bestehenden Biomasseheiz(kraft)werken und Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen bereits genutzten Waldholz zusammensetzt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Energiepotenzial aus Waldholz berechnet durch die LWF • Vereinfachend wird im Mischpult davon ausgegangen, dass die Potenziale aus Industrieholz, Sägenebenprodukten, Industrierestholz und Altholz bereits zu 100 % ausgenutzt werden und entsprechend der durchschnittlichen Einsatzquoten bayernweit verteilt sind. • Für die Energieholzsortimente Flur- und Siedlungsholz und Holz aus Kurzumtriebsplantagen sind nach Aussagen der LWF zusätzliche Potenziale vorhanden. Bayernweit stehen dafür jedoch keine adäquat berechneten Daten zur Verfügung. Zur Umsetzung von Energieprojekten kann beispielsweise das Pappel-Ertragsmodell für Bayern (KUP-Scout) wertvolle Unterstützung geben oder die Angaben in der Karte über die aus Flur- und Siedlungsholz jährlich nutzbaren Energiepotenzial im Energie-Atlas Bayern. Aspekte konkurrierender Landnutzung und die Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Restriktionen sind zu beachten. • Darüber hinaus besteht ein Zubaupotenzial an Pelletfeuerstätten ungeachtet der regionalen Waldholzpotenziale, das im Mischpult nicht berücksichtigt wird.

Energieholz setzt sich aus verschiedenen Sortimenten zusammen: Waldholz (Scheitholz, Hackschnitzel), Industrieholz, Sägenebenprodukte (Rinde/Kappholz, Hobelspäne), Industrierestholz, Altholz, Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Flur- und Siedlungsholz. Die Anteile der einzelnen Energieholzsortimente am Brennstoffmix von Biomasseheiz(kraft)werken und von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen sind unterschiedlich.

Nach GÖRWEIN ET AL. (2020: 98) werden ein durchschnittlicher Waldholzanteil am Brennstoffmix in Höhe von 22 % für Biomasseheizkraftwerke und in Höhe von 35 % für Biomasseheizwerke herangezogen, um grob abzuschätzen, wie viel Waldholz in den vor Ort bestehenden Biomasseheiz(kraft)werken bereits verbrannt wird. Für den Rest wird angenommen, dass er über Industrieholz, Sägenebenprodukte, Industrierestholz, Altholz, Holz aus Kurzumtriebsplantagen und Flur- und Siedlungsholz gedeckt wird. Die entsprechenden Waldholzanteile am Brennstoffmix für Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen können Sie der Beschreibung zum Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“ entnehmen (siehe Kapitel 9.6).

Mithilfe eines Reglers im Schritt 3 der Anwendung können Sie das zusätzliche, lokal noch ungenutzte Energiepotenzial aus Waldholz zwischen dem Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ und dem Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“ aufteilen.

Dass Energiewaldholz z. B. auch aus benachbarten Orten bezogen werden kann, kann im Mischpult nicht unmittelbar berücksichtigt werden. Sie können aber die Transportfähigkeit des Energiewaldholzes simulieren, indem Sie mehrere Nachbarorte auswählen und dadurch regionale Potenziale betrachten.

Potenzialabschätzung aus Waldholz nach LWF

Die Energiepotentiale aus Waldholz geben die jährlich anfallende Energiemenge aus Holz oberhalb der Derbholzgrenze an. Die Energieangabe ist der Mittelwert aus Waldenergieholz je Hektar Gemeindefläche. Energiemengen wurden aus dem Energieholzaufkommen für jedes Gemeindegebiet umgerechnet. Hierfür waren folgende Teilberechnungen notwendig:

1. Modellierung des potentiellen Holzaufkommens (jährliche Holznutzung) auf der Grundlage der Stichprobenflächen der 3. Bundeswaldinventur für einen Zeitraum von 40 Jahren unter Berücksichtigung des Waldumbaus zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel nach BORCHERT ET AL. (2018a).
2. Ermittlung der Korrelation zwischen den Holzvorräten (im Wald stehende Holzmassen) an den Stichprobenflächen zu Beginn des Modellierungszeitraums und dem potentiellen Holzaufkommen getrennt nach Baumartengruppen.
3. Ermittlung der Korrelation zwischen den Baumhöhen und den Holzvorräten an den Stichprobenflächen getrennt nach Baumartengruppen.
4. Auf der Basis von flächendeckend vorliegenden Informationen über die Baumhöhen nach BORCHERT ET AL. (2018b) und das Vorkommen von Baumarten nach IMMITZER ET AL. (2015) wurde diese Korrelation auf die Fläche übertragen mit dem Ergebnis flächendeckender Daten zu den Holzvorräten.
5. Die Korrelation zwischen den Holzvorräten und dem potentiellen Holzaufkommen an den Stichprobenflächen wurde auf die flächendeckenden Daten zu den Holzvorräten übertragen und dadurch das potentielle Holzaufkommen flächig geschätzt.
6. Die Anteile von Energieholz am potentiellen Holzaufkommen wurden entsprechend der unterschiedlichen Sortierungspraxis von Kleinprivatwald und größeren Forstbetrieben, die aus der Holzeinschlagserhebung nach HASTREITER (2013 und 2018) bekannt ist, geschätzt. Dies bedeutet, dass der Anteil von Energieholz im Kleinprivatwald größer ist als in großen Forstbetrieben. In Laubwäldern ist der Anteil von Energieholz größer als in Nadelwäldern. Es wird angenommen, dass auf diese Weise das wirtschaftliche Potential abgebildet wird. Die Flächen der Besitzarten und -größen entstammen dem Automatisierten Liegenschaftsbuch.
7. Die so errechneten Energieholzpotentiale wurden in Energieeinheiten umgerechnet. Welche Energiemenge davon nutzbar gemacht werden kann, hängt von den Wirkungsgraden und Jahresnutzungsgraden der Anlagen ab, die das Energieholz verbrennen.

Die Potenziale beziehen sich nur auf Derbholz³. Biomasse von schwächerer Dimension (Äste, Reisig, Nadeln) kann bis zu 20 % der gesamten Biomasse eines Baumes umfassen. Bei der Nutzung ganzer Baumkronen, z. B. um Hackschnitzel herzustellen, wird auch diese Biomasse entnommen. Da in den Kronen verhältnismäßig viele Nährstoffe enthalten sind, sollten nach WEIS ET AL. (2012: 46) auf basenarmen und auf flachgründigen Standorten Kronen nicht genutzt werden, sondern auf dem Boden verbleiben. Derzeit kann kleinräumig noch nicht für ganz Bayern bestimmt werden, ob beziehungsweise in welchem Ausmaß die Kronennutzung für den Standort verträglich ist. Deshalb lassen sich die Energiepotentiale dieser Biomasse aus dem Wald auf Gemeindeebene noch nicht zuverlässig abschätzen.

Die tatsächlichen Energiepotentiale aus den Wäldern können deshalb größer sein als die im Mischpult ausgegebenen Werte.

³ oberirdische Holzmasse über 7 cm Durchmesser mit Rinde

4 Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“

Im Mischpult werden die Abwärme aus Biogasanlagen und die industrielle Abwärme in einem Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“ zusammengefasst.

Biogas entsteht bei der Vergärung von landwirtschaftlicher Biomasse. Bei der Verbrennung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk werden Strom und Wärme gleichzeitig in einem Prozess erzeugt. Wärme wird direkt, z. B. zur Beheizung des Fermenters und für Trocknungsprozesse eingesetzt, oder kann durch Einspeisung in ein Wärmenetz an einem entfernten Ort genutzt werden.

Auch beim Betrieb von technischen Geräten sowie von Produktions- und Energieumwandlungsanlagen in Industriebetrieben kann Abwärme anfallen. In der Energieberatung wird vorrangig nach Möglichkeiten gesucht, Abwärme zu vermeiden. Verbleibende Abwärme sollte betriebsintern oder außerbetrieblich genutzt werden. Die Nutzung von Abwärme hängt von verschiedenen Rahmenbedingungen ab, wie z. B. dem nutzbaren Temperaturniveau und der zeitlichen Übereinstimmung von Wärmeangebot und -bedarf. Es ist daher nicht in jedem Fall oder nicht voll umfänglich möglich beziehungsweise wirtschaftlich Abwärme zu nutzen.

In seiner Startposition zeigt Ihnen der Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“ derzeit ausschließlich den aktuellen Deckungsanteil der Abwärmenutzung aus Biogasanlagen am Wärmebedarf in der ausgewählten Gemeinde in % an, da noch kein ausreichender Datenbestand zur Nutzung industrieller Abwärme vorliegt.

Für die Darstellung der Abwärme-Potenziale werden die technisch im Kraft-Wärme-Kopplungsprozess zur Verfügung stehende Abwärme aus Biogasanlagen und die im Energie-Atlas Bayern angezeigten Energiemengen der industriellen Abwärmequellen berücksichtigt. Wenn Sie den Regler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“ verschieben, stellen Sie für die ausgewählte Gemeinde ein Szenario im Bereich Abwärmenutzung ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials (siehe Kapitel 4.6).

Weitere Informationen und Hilfestellungen rund um das Thema [industrielle Abwärme](#) finden Sie im Energie-Atlas Bayern. Die [Abwärmeinformationsbörse](#) dient als Austauschplattform für Interessierte, die Abwärme für eine außerbetriebliche Nutzung anbieten, sowie für Wärmeabnehmer, die Abwärme nutzen möchten. Sie macht die Potenziale überschüssiger Abwärme in einer Region sichtbar und erleichtert das Auffinden von Abwärmequellen und -senken.

4.1 Wie viel Wärme (MWh_{th}/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die erzeugte Wärmemenge einer Biogasanlage wird anhand der Strommenge berechnet, die in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird. Bei der Auswertung der zugrundeliegenden EEG-Meldungen von Biogasanlagen in der Datenbank des Energie-Atlas Bayern muss beachtet werden, dass sich die Regelung des EEG zur Vergütung der Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung über die Jahre verändert hat. Daher wird zur Ermittlung der bei Biogasanlagen in Kraft-Wärme-Kopplung geführten Strommenge eine abgestufte Berechnungsmethode angesetzt. Bei der in Kraft-Wärme-Kopplung geführten Strommenge wird der Stromanteil, der für den Eigenwärmebedarf einer Biogasanlage (z. B. Fermenterbeheizung) aufgewendet werden müsste, nicht berücksichtigt.

1. Für Biogasanlagen, die aufgrund ihres Vergütungsschlüssels als Kraft-Wärme-Kopplungsanlage identifiziert werden können, wird die in der Meldung der Übertragungsnetzbetreiber eingetragene Kraft-Wärme-Kopplungsstrommenge verwendet.

2. Wird im Kraft-Wärme-Kopplungsprozess Biomethan eingesetzt, so entspricht die in Kraft-Wärme-Kopplung geführte Strommenge dieser Biogasanlagen ihrer erzeugten Gesamtstrommenge.
3. Weiterhin gibt es Biogasanlagenbetreiber, die den erzeugten Strom direkt vermarkten und dafür eine Marktprämie erhalten. Die Kraft-Wärme-Kopplungsstrommenge solcher Biogasanlagen wird aus ihrer erzeugten Gesamtstrommenge und ihrem mittleren in Kraft-Wärme-Kopplung geführten Stromanteil ermittelt, der aus den Vorjahresangaben der Übertragungsnetzbetreiber (Verhältnis der Kraft-Wärme-Kopplungsstrommenge und der Gesamtstrommenge aus 2010 und 2011 – für 2009 liegen keine Daten vor) berechnet wird⁴.
4. Für Biogasanlagen, die nach dem EEG 2012 zur Abwärmenutzung verpflichtet sind, werden 35 % der erzeugten Gesamtstrommenge als Kraft-Wärme-Kopplungsstrommenge angesetzt. Der Anteil von 35 % ergibt sich, da bei der Verpflichtung, 60 % der Gesamtstrommenge in Kraft-Wärme-Kopplung zu erzeugen, 25 % des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms für den Eigenwärmebedarf angerechnet werden können.

Die Wärmeproduktion einer bestehenden Biogasanlage ergibt sich aus der Division der ermittelten Kraft-Wärme-Kopplungsstrommenge und der Stromkennzahl. Die Stromkennzahl ist das spezifische Verhältnis aus Strom- und Wärmeerzeugung der Anlage, das je nach Betriebsweise unterschiedlich sein kann. Da die tatsächliche Stromkennzahl einzelner Biogasanlagen nicht bekannt ist, wird die Standard-Stromkennzahl für Verbrennungsmotoren in Höhe von 0,75 nach EFFIZIENZRICHTLINIE 2012/27/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (2012: L 315/29) angesetzt.

Die so ermittelte Wärmeproduktion der Bestandsbiogasanlagen wird je Gemeinde summiert und ergibt die aktuelle Wärmeproduktion aus Biogas je Gemeinde.

Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Wärmebedarf und dem gewünschten, am Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Wärmeproduktion für die Abwärmenutzung für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 138.156 MWh_{th}/a
- Wärmeproduktion der Bestandsbiogasanlagen: 4.145 MWh_{th}/a

Deckung des Wärmebedarfs durch Abwärmenutzung		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	3%	4.145	-	4.145
Vollständig	100%	4.145	134.011	138.156
technisches Potenzial	4%	4.145	1.381	5.526

⁴ „Für Anlagen in der Direktvermarktung besteht zwar keine Verpflichtung zur Kraft-Wärme-Kopplung, jedoch wird davon ausgegangen, dass eine Wärmesenke, die gleichzeitig eine Einnahmequelle für die Anlagenbetreiber darstellt, auch in der Direktvermarktung weiterhin bedient wird“ (BEIL ET AL. 2015: 8)

4.2 Wie viel Leistung (MW_{th}) ist installiert?

Ist-Stand:

Die thermische Nennleistung der bestehenden Biogasanlagen einer Gemeinde ergibt sich durch Division der Wärmeproduktion (vgl. Kapitel 4.1) durch die durchschnittlichen Volllaststunden der bayerischen Biogasanlagen in Höhe von 7.194 h/a nach RÖHLING ET AL. (2008: 2).

Die so ermittelte Nennwärmeleistung der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die im Ort installierte thermische Nennleistung von Biogasanlagen.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Wärmeproduktion und den spezifischen Volllaststunden in Höhe von 7.194 h/a nach RÖHLING ET AL. (2008: 2) wird die zusätzliche thermische Nennleistung von neuer Abwärmenutzung bei Biogasanlagen und in der Industrie berechnet.

Die zusätzliche Wärmeproduktion, die durch zusätzliche Abwärmenutzung bei Biogasanlagen und in der Industrie erzeugt werden soll, lässt sich aus der Differenz zwischen der am Schieberegler neu eingestellten Wärmeproduktion, die durch Abwärmenutzung bei Biogasanlagen und in der Industrie generiert werden soll, und der Wärmeproduktion der Bestandsbiogasanlagen ermitteln (vgl. Kapitel 4.1).

Grundsätzlich ergeben sich die Volllaststunden aus der Verfügbarkeit der Anlage, die beispielsweise durch Wartung, Instandsetzung, Reparaturarbeiten beeinflusst wird, und der Auslastung infolge der Betriebsweise. Um die Berechnung der thermischen Nennleistung zu vereinfachen, wird standardmäßig die spezifische Volllaststundenzahl von Biogasanlagen in Höhe von 7.194 h/a auf die Abwärmenutzung in der Industrie übertragen.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der Nennwärmeleistung der bestehenden Biogasanlagen und der zusätzlichen thermischen Nennleistung von neuer Abwärmenutzung bei Biogasanlagen und in der Industrie gebildet. Es wird die künftige thermische Nennleistung von Biogasanlagen und genutzten Abwärmequellen in Industriebetrieben angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Wärmebedarf durch Abwärmenutzung bei Biogasanlagen und in der Industrie zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 138.156 MWh_{th}/a
- Wärmeproduktion der Bestandsbiogasanlagen: 4.145 MWh_{th}/a
- Nennwärmeleistung der Bestandsbiogasanlagen: 621 kW_{th}
- durchschnittliche Volllaststundenzahl bei der Abwärmenutzung von Biogasanlagen und in der Industrie: 7.194 h/a (Zubau im Szenario)

Deckung des Wärmebedarfs durch Abwärmenutzung		Wärmeproduktion in MWh_{th}/a			Nennwärmeleistung in MW_{th}		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	3%	4.145	-	4.145	0,621	-	1
Vollständig	100%	4.145	134.011	138.156	0,621	18,628	19
technisches Potenzial	4%	4.145	1.381	5.526	0,621	0,192	1

4.3 Wie viel Strom (MWh_{el}/a) wird für den Betrieb der Anlagen benötigt?

Der Strombedarf einer Biogasanlage resultiert nach DACHS (2006: 3) aus dem Hilfsenergiebedarf aller elektrischen Komponenten: Rührwerke, Pumpen, Lüfter und Biomasseeinbringssysteme.

Bei der Nutzung der industriellen Abwärme werden nach SCHMITZ ET AL. (2012: 11) Ventilatoren und Umwälzpumpen eingesetzt, die für ihren Betrieb Strom benötigen.

Der Hilfsenergiebedarf kann sich auf die erzeugte oder auf die verteilte Wärmemenge der Anlage beziehen. Derzeit liegen jedoch keine einheitlichen Parameter des durchschnittlichen Hilfsenergiebedarfs von Biogasanlagen oder Abwärmenutzungsanlagen in der Industrie vor. Daher kann der Strombedarf nicht berechnet werden.

4.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO₂-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Kilowattstunde Wärme liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2019 bei 313,5 g CO₂-Äq. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Wärmeerzeugungstechnologien nach LAUF ET AL. (2019) und ZERHUSEN ET AL. (2015) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2019 nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020) und dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2021).

Da Biogasanlagen überwiegend zur Stromerzeugung genutzt werden, kann die Abwärme als ein Nebenprodukt der Stromerzeugung angesehen und komplett der Stromerzeugung zugewiesen werden. Für die weitere Berechnung im Mischpult „Wärme“ werden für die Nutzung von Abwärme aus Biogasanlagen pro Kilowattstunde 0 g CO₂-Äq. nach ZERHUSEN ET AL. (2015) angesetzt. Die Treibhausgas-Emissionen für die Stromerzeugung werden im Mischpult „Strom“ im Schieberegler Biomasse berücksichtigt (siehe [Information zur Berechnung – Stromversorgung aus erneuerbaren Energien](#)).

Da Abwärme aus der Industrie bereits erzeugte Energie darstellt, werden die Treibhausgas-Emissionen pro Kilowattstunde standardmäßig mit 0 g CO₂-Äq. angesetzt. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass durch den Einsatz von zusätzlichen Aggregaten (Pumpen, Gebläse etc.) Treibhausgas-Emissionen anfallen, die jedoch je nach Aggregat unterschiedlich sein können. Da hierfür keine zuverlässigen Werte vorliegen, gibt es keinen geeigneten Parameter, der grundlegend für eine Berechnung genutzt werden kann.

Somit werden durch die Nutzung von Abwärme aus Biogasanlagen und in der Industrie die CO₂-Emissionen des deutschen Wärmemix in Höhe von 313,5 g CO₂-Äq./kWh_{th} (spezifischer Vermeidungsfaktor) eingespart.

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion aus genutzter Abwärme aus Bestandsbiogasanlagen (vgl. Kapitel 4.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 313,5 g CO₂-Äq./kWh_{th} ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch Nutzung der Abwärme aus Biogasanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden Biogasanlagen.

Szenario:

Das Produkt aus der Wärmeproduktion von zusätzlicher Abwärmenutzung bei Biogasanlagen und in der Industrie (vgl. Kapitel 4.2) und dem spezifischen Vermeidungsfaktor für die Nutzung von Abwärme aus Biogasanlagen und in der Industrie in Höhe von 313,5 g CO₂-Äq./kWh_{th} ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher Abwärmenutzung von Biogasanlagen und in der Industrie.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bereits genutzte Abwärme aus Biogasanlagen und zusätzlich genutzte Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 138.156 MWh_{th}/a
- Wärmeproduktion der Bestandsbiogasanlagen: 4.145 MWh_{th}/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor bei der Abwärmenutzung von Biogasanlagen und in der Industrie: 313,5g CO₂-Äq./kWh_{th}
= 0,3135 t CO₂-Äq./MWh_{th}

Deckung des Wärmebedarfs durch Abwärmenutzung		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a			CO ₂ -Äq.-Einsparung in t CO ₂ -Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	3%	4.145	-	4.145	1.299,5	-	1.300
vollständig	100%	4.145	134.011	138.156	1.299,5	42.012,4	43.312
technisches Potenzial	4%	4.145	1.381	5.526	1.299,5	432,9	1.732

4.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Ausgehend davon, dass Abwärme als ein Nebenprodukt der Stromerzeugung angesehen werden kann (vgl. Kapitel 4.4) und erst im KWK-Prozess genutzt wird, kann der Flächenbedarf von Biogasanlagen (inklusive Anbaufläche) größtenteils der Stromerzeugung zugewiesen werden. Die Fläche, die für den Betrieb einer Biogasanlage benötigt wird, wird im Mischpult „Strom“ im Schieberegler Biomasse komplett berücksichtigt (siehe [Information zur Berechnung – Stromversorgung aus erneuerbaren Energien](#)).

Industrielle Abwärme entsteht in Produktionsprozessen und setzt damit voraus, dass eine Produktionsstätte bereits besteht. In den meisten Fällen wird der Betrieb mit einem Speicher ausgestattet, der wiederum innerhalb der Produktionsstätte aufgestellt wird. Für die Nutzung von Abwärme entsteht grundsätzlich kein zusätzlicher Flächenbedarf.

Daher wird der Flächenbedarf für Abwärmenutzung bei Biogasanlagen und in der Industrie sowohl für die Berechnung im Ist-Stand als auch im Szenario auf Null gesetzt.

4.6 Technisches Wärmeerzeugungspotenzial der Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen und der Industrie

Die Wärme, die in Verbrennungsprozessen von Biogas und beim Betrieb von technischen Geräten sowie von Produktions- und Energieumwandlungsanlagen in Industriebetrieben grundsätzlich entsteht, entspricht der Abwärmemenge, die maximal genutzt werden könnte.

Das technische Wärmeerzeugungspotenzial der Abwärmenutzung in einer Gemeinde umfasst die insgesamt anfallende Abwärmemenge von bestehenden Biogasanlagen (vgl. Kapitel 4.1) und die Abwärmemenge, die von industriellen Abwärmequellen der Abwärmeinformationsbörse bekannt ist (siehe Tab. 4). Industrielle Abwärmequellen, die als Biogasanlage oder als Biomasseheiz(kraft)werk identifiziert werden, werden herausgefiltert. Biogasanlagen werden in der Potenzialberechnung für die Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen berücksichtigt. Biomasseheiz(kraft)werke werden in der Potenzialberechnung der Energieholznutzung im Schieberegler Biomasse für Heiz(kraft)werke berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.6).

Tab. 4: Grundlagen für die Berechnung des Abwärmenutzungspotenzials von Biogasanlagen und der Industrie

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Abwärmenutzung	Annahmen für die Abwärmenutzung von Biogasanlagen und der Industrie
<p>Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen – Wärmeproduktion, die sich ergibt, wenn die in Biogasanlagen erzeugte Strommenge komplett im Kraft-Wärme-Kopplungsprozess erzeugt werden würde.</p> <p>Nutzung der Abwärme der Industrie – Wärmeproduktion, die sich durch die Nutzung der Abwärmemenge aller bekannten industriellen Abwärmequellen (abzgl. Biogasanlagen, Biomasseheiz(kraft)werke) ergibt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die gesamte Strommenge aller bestehenden Biogasanlagen einer Gemeinde wird im Kraft-Wärme-Kopplungsprozess erzeugt. • Eine zusätzlich anfallende Abwärmemenge aufgrund des Zubaus von Biogasanlagen wird nicht berücksichtigt. • Stromkennzahl für Verbrennungsmotoren in Höhe von 0,75. • Abwärmequellen, die in der Abwärmeinformationsbörse im Energie-Atlas Bayern eingetragen sind.

Potenzialabschätzung der Nutzung der Abwärme aus Biogasanlagen

Die technisch mögliche Abwärmemenge ergibt sich, indem die gesamte Strommenge aller Biogasanlagen einer Gemeinde mit der Stromkennzahl dividiert wird. Auch hier wird die Stromkennzahl für Verbrennungsmotoren von 0,75 nach EFFIZIENZRICHTLINIE 2012/27/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (2012: L 315/29) angesetzt.

Potenzialabschätzung der Nutzung der Abwärme der Industrie

Die technisch mögliche industrielle Abwärmemenge ergibt sich aus der Summe der Abwärmemenge aller bekannten industriellen Abwärmequellen einer Gemeinde. Für das Mischpult stehen nur die Abwärmequellen zur Verfügung, die in der Abwärmeinformationsbörse im Energie-Atlas Bayern eingetragen sind (abzgl. Biogasanlagen, Biomasseheiz(kraft)werke). **Das technisch mögliche Potenzial kann daher größer sein, als im Mischpult angezeigt wird.**

5 Schieberegler „tiefe Geothermie“

Für eine energetische Nutzung von Thermalwasser (Wärmeversorgung und Stromerzeugung) sind nach dem LFU (o. J. a) hohe Temperaturen und Fördermengen erforderlich, so dass sich hier die bestehenden beziehungsweise in Bau oder Planung befindlichen Projekte auf das Molassebecken südlich der Donau konzentrieren. Hier steht mit dem Malm (Oberer Jura) der potenziell ergiebigste Thermalgrundwasserleiter Bayerns zur Verfügung (Malmaquifer).

Die Temperatur der Erde steigt nach dem BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V. (o. J.) mit zunehmender Annäherung zum Erdkern kontinuierlich an. In 6.000 km Tiefe herrschen bis zu 5.000 °C. Jedoch lassen sich schon in relativ geringer Tiefe Wärmepotenziale zur Energiegewinnung nutzen. Nach dem BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (STMWI, 2012: 9f.) spricht man von tiefer Geothermie bei Bohrungen von 400 m und mehr, wobei die technische Grenze derzeit bei circa 7.000 m liegt. Die Erdwärme kann direkt zur thermischen Versorgung von Gebäuden oder Prozessen genutzt werden. Liegen die Temperaturen über 80 °C, kann damit auch Strom erzeugt werden.

Die Nutzung der im tieferen Untergrund gespeicherten Erdwärme ist nach STMWI (2012: 10) grundsätzlich über zwei Arten möglich:

- Hydrothermale Energiegewinnung
(Nutzung von Heißwasser-Aquiferen)
- Petrothermale Energiegewinnung
(überwiegend Nutzung der im Gestein gespeicherten Energie).

Die Nutzung von petrothermalen Systemen befindet sich nach STMWI (2012: 10) derzeit noch im Versuchs- und Erprobungsstadium (z. B. in Soultz-sous-Forêts im französischen Teil des Oberrheingraben und in Groß Schönebeck in Brandenburg). Es ist daher davon auszugehen, dass in absehbarer Zeit in Bayern im tieferen Untergrund nur die hydrothermale Geothermie zum Einsatz kommen wird. Im Schieberegler „tiefe Geothermie“ wird daher ausschließlich die hydrothermale Wärmeenergie berücksichtigt.

Die Startposition des Schiebereglers „tiefe Geothermie“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der tiefen Geothermie (hydrothermale Wärmeenergiegewinnung) am Wärmebedarf in der ausgewählten Gemeinde an. Wenn Sie den Regler „tiefe Geothermie“ verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich tiefe Geothermie ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zum technischen Potenzial (Kapitel 5.6).

5.1 Wie viel Wärme (MWh_{th}/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die Wärmeenergieproduktion bestehender tiefer Geothermieanlagen wird aus der Angabe des „Geothermischen Informationssystems für Deutschland“ des LEIBNIZ-INSTITUTS FÜR ANGEWANDTE GEOPHYSIK (2020) übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Wärmebedarf und dem gewünschten, am Schieberegler „tiefe Geothermie“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Wärmeenergieproduktion aus tiefen geothermischen Anlagen für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 113.631 MWh_{th}/a
- Wärmeenergieproduktion der Bestandsanlagen: 34.089 MWh_{th}/a

Deckung des Wärmebedarfs durch tiefe Geothermie		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	30%	34.089	-	34.089
Vollständig	100%	34.089	79.542	113.631
technisches Potenzial	*	34.089		*

* Gebiet mit (zumindest teilweise) günstigen geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärmegewinnung (s. Kapitel 5.6)

5.2 Wie viel Leistung (MW_{th}) ist installiert?

Die installierte thermische Leistung tiefer Geothermieranlagen kann über das „Geothermische Informationssystem für Deutschland“ des LEIBNIZ-INSTITUTS FÜR ANGEWANDTE GEOPHYSIK (2020) abgerufen werden. Aufgrund der stark differierenden geologischen Gegebenheiten kann jedoch kein geeigneter Parameter einer typischen Anlage zur Berechnung der zusätzlichen Leistung angesetzt werden. Daher wird die thermische Leistung tiefer Geothermieranlagen nicht angezeigt.

5.3 Wie viel Strom (MWh_{el}/a) wird für den Betrieb der Anlagen benötigt?

Der Strombedarf bei tiefen Geothermieranlagen resultiert im Wesentlichen aus dem Stromverbrauch der Pumpen, der wiederum von der Förderrate und Förderhöhe abhängt, wobei letztere auch vom Ausbau der Bohrung (Druckverluste) beeinflusst wird.

Die „kalten“ Ruhewasserspiegel im Malmaquifer des bayerischen Molassebeckens liegen etwa 100 m bis 200 m unter Gelände. Die Absenkungen der Wasserspiegel (ohne Berücksichtigung der Druckverluste in der Bohrung) variieren (bei einer vergleichbaren Förderrate von rund 100 l/s) von circa 10 m bis zu weit über 100 m. Der warme Betriebswasserspiegel ist zudem von der jeweiligen Fördertemperatur abhängig. Die jeweiligen geologischen Bedingungen haben somit einen wesentlichen Einfluss auf den Strombedarf der Anlage.

Da die Anlagengröße stark variieren kann sowie Förderrate und Förderhöhe von den geologischen Gegebenheiten abhängig sind, kann ein einheitlicher Berechnungsansatz für alle Gemeinden in Bayern nicht zugrunde gelegt werden. Daher entfällt das Anzeigefeld für den Stromeinsatz bei tiefen Geothermieranlagen.

5.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO₂-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Kilowattstunde Wärme liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2019 bei 313,5 g CO₂-Äq. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Wärmeerzeugungstechnologien nach LAUF ET AL. (2019) und ZERHUSEN ET AL. (2015) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2019 nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020) und dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2021). Bei der Wärmeerzeugung aus tiefer Geothermie werden 33,8 g CO₂-Äq./kWh_{th} nach LAUF ET AL. (2019: 125) emittiert.

Die Differenz aus den Treibhausgas-Emissionen des deutschen Wärmemix und einer tiefen Geothermieanlage ergibt die durch die Produktion einer Kilowattstunde Wärme eingesparte Menge. Dieser spezifische Vermeidungsfaktor beträgt demnach 279,7 g CO₂-Äq./kWh_{th}.

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion der bestehenden tiefen Geothermieanlagen (vgl. Kapitel 5.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 279,7 g CO₂-Äq./kWh_{th} ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz bestehender tiefer Geothermieanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden tiefer Geothermieanlagen.

Szenario:

Aus der Differenz der mit dem Schieberegler „tiefe Geothermie“ neu eingestellten Wärmeproduktion und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen lässt sich eine zusätzliche Wärmeproduktion ausrechnen, die durch neue tiefe Geothermieanlagen erzeugt werden soll (vgl. Kapitel 5.1).

Das Produkt aus der Wärmeproduktion von neuen Anlagen und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 279,7 g CO₂-Äq./kWh_{th} ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher tiefer Geothermieanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche tiefe Geothermieanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 113.631 MWh_{th}/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 34.089 MWh_{th}/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor: 279,7 g CO₂-Äq./kWh_{th}
= 0,2797 t CO₂-Äq./MWh_{th}

Deckung des Wärmebedarfs durch tiefe Geothermie		Wärmeproduktion in MWh _{th} /a			CO ₂ -Äq.-Einsparung in t CO ₂ -Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	30%	34.089	-	34.089	9.534,7	-	9.535
vollständig	100%	34.089	79.542	113.631	9.534,7	22.247,9	31.783
technisches Potenzial	*	34.089		*	9.534,7		*

* Gebiet mit (zumindest teilweise) günstigen geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärmegewinnung (s. Kapitel 5.6)

5.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Die obertägige Flächenbeanspruchung durch tiefe Geothermie bezieht sich vor allem auf die bauliche Anlage selbst. Der Flächenbedarf liegt bei rund 5.000 m² bis gut 10.000 m², je nachdem, ob in die Anlage auch ein Heizwerk zur Spitzenlastabdeckung beziehungsweise zur Redundanz oder ein Kraftwerk zur Stromerzeugung integriert ist. Die Anlagengröße kann somit stark variieren.

Der untertägige Flächenbedarf sowie Abstandsregelungen ergeben sich zwar aus den für die Gewinnung der Erdwärme erforderlichen bergrechtlichen Bewilligungsfeldern, können aber nicht pauschal und a priori angegeben werden. Daher kann der Flächenbedarf tiefer geothermischer Anlagen nicht berechnet werden.

5.6 Technisches Wärmeerzeugungspotenzial der Nutzung tiefer Geothermie

Das tatsächliche technische Wärmeerzeugungspotenzial aus tiefer Geothermie (hydrothermale Wärmegewinnung) kann für jede einzelne Gemeinde ohne vertiefte Voruntersuchung nicht ausreichend verlässlich ermittelt werden, da das Potenzial von lokalen geologischen Randbedingungen (Temperatur und Ergiebigkeit beziehungsweise Gebirgsdurchlässigkeit) abhängig ist.

Für eine Bewertung, ob grundsätzlich ein Potenzial für eine hydrothermale Wärmegewinnung vorhanden sein könnte, wird auf die Angaben im „Bayerischen Geothermieatlas“ des STMW_I (2012) zurückgegriffen. Das größte Potenzial für eine hydrothermale Wärmegewinnung liegt nach STMW_I (2012: 26f.) im Malmkarst des süddeutschen Molassebeckens. Die Gebiete in Bayern werden in zwei Kategorien eingeteilt:

- Gebiete mit günstigen geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärmegewinnung und
- Gebiete mit weniger günstigen geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärmegewinnung (in der Regel zusätzlicher Wärmepumpeneinsatz erforderlich).

Die Einteilung der oben genannten Gebiete ergibt sich nach Aussage der Bearbeiterinnen und Bearbeiter des Bayerischen Geothermieatlases im Wesentlichen aus einem Verschnitt von Temperaturkarten mit einer Karte der Malm- beziehungsweise Purbeckoberfläche. Die Verteilung der Gebirgsdurchlässigkeit wird bei der Abgrenzung der Gebiete für eine hydrothermale Wärmegewinnung nicht berücksichtigt, da diese insbesondere im Westen Bayerns noch wenig abgesichert ist. Gebiete, die nicht in eine dieser Kategorien fallen, sind für eine hydrothermale Energiegewinnung eher ungeeignet.

Im Mischpult wird Ihnen über die Einfärbung des Schiebereglers signalisiert, in welchem Gebiet sich die ausgewählte Gebietskörperschaft befindet:

- Grün: Gebiete mit (zumindest teilweise) günstigen geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärmegewinnung.
- Gelb: Gebiete mit (zumindest teilweise) weniger günstigen geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärmegewinnung.
- Rot: Gebiet ist voraussichtlich nicht für eine hydrothermale Energiegewinnung geeignet.

6 Schieberegler „oberflächennahe Geothermie“

Nach BLECKMANN ET AL. (2004: 1f) steigt die Temperatur der Erde mit zunehmender Annäherung zum Erdkern kontinuierlich an. In etwa 6.000 km Tiefe herrschen bis zu 5.000 °C. Jedoch lassen sich schon in relativ geringer Tiefe Wärmepotenziale zur Energiegewinnung nutzen. Von oberflächennaher Geothermie spricht man bei Nutzung der thermischen Energie bis zu einer Tiefe von 400 m. In diesen Tiefen reichen die Temperaturen des Erdreiches (7-25 °C) allerdings nicht aus, um die vorhandene Wärmenergie direkt zu nutzen. Daher kommen bei oberflächennahen geothermischen Anlagen (z. B. Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren) Wärmepumpen zum Einsatz, die unter Verwendung von elektrischer Energie dazu in der Lage sind, die Temperaturen auf ein nutzbares Niveau anzuheben.

Die Startposition des Schiebereglers „oberflächennahe Geothermie“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der oberflächennahen Geothermie am Wärmebedarf in der ausgewählten Gemeinde an, der sich auf Grundlage der BAFA-Daten ergibt (vgl. Kapitel 2). Wenn Sie den Regler „oberflächennahe Geothermie“ verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich oberflächennaher Geothermie ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials (siehe Kapitel 6.6). Das Potenzial für oberflächennahe Geothermie bezieht sich auf den Einsatz von Erdwärmesonden. Die Ermittlung der Potenziale für Erdwärmekollektoren und Grund-Wasserwärmepumpen ist derzeit in Bearbeitung.

6.1 Wie viel Wärme (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion einer oberflächennahen geothermischen Anlage ergibt sich durch die Multiplikation der Leistung (siehe Kapitel 6.2) mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl einer Heizungsanlage in Höhe von rund 1.700 h/a nach ARNDT (2012: 9).

Die so ermittelte Wärmeproduktion der Bestandsanlagen wird je Gemeinde summiert und ergibt die aktuelle Wärmeproduktion aus oberflächennaher Geothermie pro Gemeinde.

Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Wärmebedarf und dem gewünschten, am Schieberegler „oberflächennahe Geothermie“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Wärmeproduktion aus Erdwärmesonden für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.410 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 308 MWh/a

Deckung des Wärmebedarfs durch oberflächennahe Geothermie		Wärmeproduktion in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	308	-	308
Vollständig	100%	308	15.102	15.410
technisches Potenzial	13%	308	1.695	2.003

6.2 Wie viel Leistung (MWth) ist installiert?

Ist-Stand:

Die Leistung der bestehenden oberflächennahen Geothermieanlagen wird aus den Daten des BAFA, die die Betreiber bei ihren Antragstellungen im Rahmen des MAP angegeben haben, übernommen und je Gemeinde summiert.

Sofern für Anlagen keine Leistung aufgeführt ist, wird für jeden Heizungsanlagentyp ein spezifischer Leistungskennwert angesetzt. Diese spezifischen Leistungskennwerte entsprechen nach eigener Berechnung jeweils dem mittleren Wert aller bayerischen Anlagen des gleichen Heizungsanlagentyps.

Szenario:

Nach einer Veränderung des Deckungsanteils der oberflächennahen Geothermie am Wärmebedarf lässt sich die dafür notwendige Gesamtanlagenleistung aus der erwarteten Wärmeproduktion nach dem Ausbau (vgl. Kapitel 6.1) und den spezifischen Volllaststunden einer Heizungsanlage in Höhe von rund 1.700 h/a nach ARNDT (2012: 9) ermitteln.

Es wird die künftige Leistung von oberflächennahen Geothermieranlagen angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Wärmebedarf durch den Einsatz von oberflächennahen Geothermieranlagen zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.410 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 308 MWh/a
- Leistung der Bestandsanlagen: 0,181 MW
- durchschnittliche Volllaststundenzahl: 1.700 h/a

Deckung des Wärmebedarfs durch oberflächennahe Geothermie		Wärmeproduktion in MWh/a			Leistung in MW		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	308	-	308	0,181	-	0,181
Vollständig	100%	308	15.102	15.410	0,181	8,883	9
technisches Potenzial	13%	308	1.695	2.003	0,181	0,997	1

6.3 Wie viel Strom (MWh_{el}/a) wird für den Betrieb der Anlagen benötigt?

Eine erdgekoppelte Wärmepumpenanlage besteht nach BLECKMANN ET AL. (2004: 2) aus drei Hauptkomponenten:

1. der Wärmequellenanlage, z. B. Erdwärmesonde, Erdwärmekollektoren, erdberührte Betonbauteile oder Grundwasserbrunnen,
2. der Wärmepumpe und
3. der Wärmenutzungsanlage, z. B. Fußbodenheizung, Warmwasser.

Der Strom wird nach BLECKMANN ET AL. (2004: 3) an drei Stellen benötigt: Er treibt die Umwälzpumpe im Wärmeträgermittelkreislauf der Wärmequellenanlage an, die Umwälzpumpe im Heizungskreislauf sowie den Verdichter der Wärmepumpe.

Eine Aussage über die Effizienz einer Wärmepumpenanlage gibt nach BLECKMANN ET AL. (2004: 3) die Jahresarbeitszahl. Das Verhältnis zwischen der jährlich abgegebenen Nutzwärme und dem jährlich eingesetzten Strom wird mit der Jahresarbeitszahl beschrieben. Eine Jahresarbeitszahl von 4 bedeutet beispielsweise, dass eine Wärmepumpenanlage etwa das Vierfache des eingesetzten Stroms in Form von Wärme bereitstellt: um 40 kWh/a Wärme mit einer oberflächennahen Geothermieranlage zu erzeugen, sind 10 kWh/a Strom erforderlich.

Nach MIARA ET AL. (2014: 42, 43, 51f) erzielen Wärmepumpenanlagen für Erdwärme im Mittel eine Jahresarbeitszahl von etwa 4, wenn direkt hinter der Wärmepumpe gemessen wird. Etwaige Energieverluste

vorhandener Speicher sind dabei nicht berücksichtigt. Würde die Messung also erst hinter dem Speicher durchgeführt und die tatsächliche Nutzwärme bilanziert werden, so würde die Jahresarbeitszahl um etwa 8 % bis 10 % kleiner ausfallen.

Für die Berechnung des Strombedarfs der oberflächennahen Geothermieanlagen wird im Mischpult die durchschnittliche Jahresarbeitszahl in Höhe von 4 angesetzt. Dieser Wert berücksichtigt technischen Fortschritt, geeignete Objekte und eine fachmännische Umsetzung. Für die individuelle Planung einer oberflächennahen Geothermieanlage ist die fachmännische Beratung vor Ort immer maßgebend.

Ist-Stand:

Der Strombedarf der bestehenden oberflächennahen Geothermieanlagen ergibt sich, indem die Wärme-
produktion der bestehenden Anlagen durch eine spezifische Jahresarbeitszahl in Höhe von 4 dividiert
wird.

Der so ermittelte Strombedarf der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die
Strommenge, die für den Betrieb der örtlichen oberflächennahen Geothermieanlagen benötigt wird.

Szenario:

Nach einer Veränderung des Deckungsanteils der oberflächennahen Geothermie am Wärmebedarf lässt
sich der vor Ort benötigte Strombedarf aus der erwarteten Wärmeproduktion nach dem Ausbau und der
spezifischen Jahresarbeitszahl in Höhe von 4 ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.410 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 308 MWh/a
- Jahresarbeitszahl: 4

Deckung des Wärmebedarfs durch oberflä- chennahe Geothermie		Wärmeproduktion in MWh/a			Strombedarf für den Betrieb der Anlagen in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	308	-	308	77,1	-	77
Vollständig	100%	308	15.102	15.410	77,1	3.775,5	3.853
technisches Potenzial	13%	308	1.695	2.003	77,1	423,8	501

6.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO₂-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Kilowattstunde Wärme liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2019 bei 313,5 g CO₂-Äq. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Wärmeerzeugungstechnologien nach LAUF ET AL. (2019) und ZERHUSEN ET AL. (2015) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020) und dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2021). Nach LAUF ET AL. (2019: 120f) werden bei der Wärmeerzeugung aus Erdwärme- und Grundwasser-Wärmepumpen durchschnittlich 177,2 g CO₂-Äq./kWh emittiert. Dieser Wert wird im Mischpult für oberflächennahe Geothermieanlagen angesetzt.

Die Differenz aus den Treibhausgas-Emissionen des deutschen Wärmemix und einer oberflächennahen Geothermieanlage ergibt die durch die Produktion einer Kilowattstunde thermischer Energie eingesparte Menge. Dieser spezifische Vermeidungsfaktor beträgt demnach 136,3 g CO₂-Äq./kWh.

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 6.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 136,3 g CO₂-Äq./kWh ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden oberflächennahen Geothermieanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden oberflächennahen Geothermieanlagen.

Szenario:

Aus der Differenz der mit dem Schieberegler „oberflächennahe Geothermie“ neu eingestellten Wärmeproduktion und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 6.1) lässt sich eine zusätzliche Wärmeproduktion ausrechnen, die durch neue oberflächennahe Geothermieanlagen erzeugt werden soll.

Das Produkt aus der Wärmeproduktion von neuen Anlagen und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 136,3 g CO₂-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher oberflächennaher Geothermieanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche oberflächennahe Geothermieanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.410 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 308 MWh/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor: 136,3 g CO₂-Äq./kWh
= 0,1363 t CO₂-Äq./MWh

Deckung des Wärmebedarfs durch oberflächennahe Geothermie		Wärmeproduktion in MWh/a			CO ₂ -Äq.-Einsparung in t CO ₂ -Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	308	-	308	42	-	42
vollständig	100%	308	15.102	15.410	42	2.058	2.100
technisches Potenzial	13%	308	1.695	2.003	42	231	273

6.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Oberflächennahe Geothermieanlagen werden in der Regel innerhalb bestehender Siedlungsstrukturen und zum Teil auch innerhalb der Gebäude errichtet. Die Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden oder Grundwasser-Wärmepumpen werden nach BLECKMANN ET AL. (2004: 4ff.) unterhalb der Erdoberfläche installiert. Bei der Installation ist ein bestimmter Abstand zwischen den Rohren beziehungsweise den Bohrlöchern einer Anlage einzuhalten, sodass nicht jede Grundstücksgröße für die Installation einer oberflächennahen Geothermieanlage geeignet ist. Weiterhin sind die bauordnungsrechtlichen Abstände der Bohrlöcher zur Grundstücksgrenze einzuhalten. Im Einzelfall ist gegebenenfalls ein Mindestabstand zwischen zwei benachbarten Erdwärmepumpenanlagen zu beachten, um eine gegenseitige Beeinflussung der Anlageneffizienz zu vermeiden. Eine Absprache mit dem Nachbarn ist daher immer sinnvoll. Die Fläche, unter denen die Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden oder Grundwasser-Wärmepumpen liegen, darf zudem nicht stark bebaut sein beziehungsweise nicht mehr stark bebaut werden.

Der untertägige Flächenbedarf kann nicht pauschal und a priori angegeben werden, sondern bedarf einer Einzelfallbetrachtung. Daher kann der Flächenbedarf oberflächennaher Geothermieanlagen im Mischpult nicht berechnet werden.

6.6 Technisches Wärmeerzeugungspotenzial

Das Potenzial zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie ist nach BLECKMANN ET AL. (2004: 3, 8) durch die Eignung des Gebäudebestands zur Nutzung von Niedertemperatur-Heizsystemen (z. B. Fußboden- oder Wandheizungen) und durch die Beschaffenheit des Untergrundes bestimmt.

Das technische Wärmeerzeugungspotenzial der oberflächennahen Geothermienutzung in einer Gemeinde umfasst die Wärmeproduktion, die aus der dem Boden entziehbaren Wärmeleistung (siehe Abschnitt „Ermittlung des geothermischen Potenzials (Erdwärmesonden)“) erzeugt werden könnte. Die Wärmeproduktion wird nach Einschätzung der BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015 c) auf die erforderliche Wärmemenge beschränkt, die Gebäude ab dem Baujahr 1996 und jünger zur Wärmeversorgung benötigen würden (siehe Tab. 5). Diese Wärmeproduktion wird aus der Berechnung des Wärmebedarfs der Wohngebäude abgeleitet (siehe Informationen zu den Rahmendaten: Wärmebedarf).

Tab. 5: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Nutzung der oberflächennahen Geothermie	Annahmen für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie
<p>Nutzung der oberflächennahen Geothermie – Wärmeproduktion, die aus der dem Boden entziehbaren Wärmeleistung erzeugt werden könnte, maximal jedoch der Wärmebedarf der Gebäude ab Baujahr 1996 und jünger.</p>	<ul style="list-style-type: none"> durchschnittliche Volllaststundenzahl einer Heizungsanlage in Höhe von rund 1.700 h/a. Gebäude ab dem Baujahr 1996 mit Niedertemperaturheizungssystemen und guter Gebäudedämmung sind grundsätzlich geeignet, derart mit Wärme versorgt zu werden. Der Wärmebedarf dieser Gebäude stellt somit das technisch nutzbare Potenzial dar. Übersteigt das maximal verfügbare geothermische Potenzial den Wärmebedarf der Gebäude ab dem Baujahr 1996 und jünger, so beschränkt sich das geothermische Potenzial auf den Wärmebedarf dieser Gebäude.

Gebäude, die auf einen energetischen Standard von 100 kWh_{th}/m² a oder weniger saniert werden, sind nach Einschätzung der BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015 c) grundsätzlich geeignet, mit Wärme aus oberflächennahen Geothermieanlagen versorgt zu werden. Unter „Schritt 2 Wärmesparziel einstellen“ besteht im Mischpult die Möglichkeit, Sanierungsszenarien einzustellen. Sollen Gebäude auf einen bestimmten durchschnittlichen Endenergiebedarf (Heizung) saniert werden, so wirkt sich diese Einstellung auf das technische Wärmeerzeugungspotenzial der oberflächennahen Geothermienutzung aus. Das berechnete Potenzial wird erhöht, wenn der durchschnittliche Endenergiebedarf (Heizung) für die zu sanierenden Gebäude unter 100 kWh/m² a bleibt.

Ermittlung des geothermischen Potenzials (Erdwärmesonden)

Das geothermische Potenzial durch den Einsatz von Erdwärmesonden erfolgt durch ein komplexes Berechnungsverfahren und wird im „UmweltAtlas Bayern“ (vormals „Informationssystem Oberflächennahe

Geothermie“) des BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR UMWELT (o. J. b) bereitgestellt. Nach Aussage der Bearbeiterinnen und Bearbeiter des UmweltAtlas Bayern berücksichtigt die Berechnung die geologischen, hydrogeologischen, geothermischen und wasserwirtschaftlichen Einschränkungen, die Nutzfläche und den potenziell notwendigen und auch möglichen energetischen Entzug.

- **Einschränkungen:** Die Ermittlung beschränkt sich auf die erschließbaren Flurstücke der Gemeinden und Städte. Ausgenommen von der Potenzialermittlung sind Flurstücke, die nach derzeitigem Kenntnisstand auf Basis von wasserwirtschaftlichen (z. B. Begrenzung der Bohrtiefe zum Zwecke des Grundwasserschutzes), hydrogeologischen (z. B. artesisch gespannte Grundwasserleiter) oder geologischen (z. B. Dolinen, Sulfatgesteine oder Karsthohlräume) Risiken ungeeignet sind. Die Datengrundlage hierfür bilden die flächendeckenden geothermischen Themenkarten aus dem UmweltAtlas Bayern. Ebenso werden Flurstücke mit Straßen, Plätzen, Gleisen, Parks, Wiesen und Wald ausgeschlossen.
- **Nutzfläche eines Flurstücks:** Ausgehend von der Fläche und Geometrie des Flurstücks sowie der Fläche, Geometrie und Position des im Flurstück befindlichen Gebäudes wird die Nutzfläche automatisch ermittelt. Es wird ein Abstand von sechs Metern zwischen den Erdwärmesondenbohrungen und von drei Metern zur Flurstücksgrenze und zum Gebäude berücksichtigt. Entsprechend der Nutzfläche ergibt sich die maximal mögliche Anzahl von Erdwärmesonden auf einem Flurstück.
- **Entzugsleistung:** Das erschließbare geothermische Potenzial ist von den Untergrundeigenschaften und dem technischen Verfahren der Energiegewinnung (hier werden nur Erdwärmesonden berücksichtigt) abhängig. Der charakteristische Parameter zur Erfassung aller relevanten Kenngrößen für die energetische Nutzung des Untergrundes ist die Entzugsleistung. In dem Summenparameter „Entzugsleistung“ werden anlagenspezifische Kenngrößen wie die Energienutzungsart (Heizen, Heizen und Kühlen oder Kühlen), die Laufzeiten der Anlage, die technische Konfiguration der Erdwärmesonden (eine, zwei oder mehrere Erdwärmesonden, Abstand und Länge der Erdwärmesonden, Erdwärmesondentyp wie Einfach-Sonde, Koaxial-Sonde, Doppel-U-Sonde, oder Ähnliches) und die geothermischen Eigenschaften des Untergrundes (Wärmeleitfähigkeit der Gesteine, Grundwasserführung und -fließgeschwindigkeit) zusammengefasst. Die Entzugsleistung ist demzufolge anlagen- und standortspezifisch.

Aus der Verschneidung der Flächendaten zu der maximal möglichen Anzahl von Erdwärmesonden auf einem Grundstück, der Entzugsleistung pro Jahr und der zulässigen Bohrtiefe wird das geothermische Potenzial bezogen auf die einzelnen Flurstücke abgeschätzt. Nachfolgend erfolgt die integrale Ermittlung des erschließbaren geothermischen Potenzials auf Gemeindeebene.

Die dem Boden entziehbare Wärmeleistung wird mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl einer Heizungsanlage in Höhe von rund 1.700 h/a nach ARNDT (2012: 9) multipliziert, um die Wärmemenge zu berechnen, die durch oberflächennahe Geothermieanlagen (Erdwärmesonden) aus dem Untergrund gewonnen werden kann. Sie stellt das maximal verfügbare Potenzial zum aktuellen Zeitpunkt dar.

7 Schieberegler „Solarthermie“

Bei der Solarthermie wird nach dem „Solaranlagen-Ratgeber“ der ANONDI GMBH (o. J. a) aus der Sonneneinstrahlung mithilfe von Kollektoren Wärme gewonnen, die zur Trinkwassererwärmung und mit Einschränkungen auch zur Heizungsunterstützung genutzt werden kann. Um Versorgungssicherheit zu gewährleisten, sollte eine zusätzliche Heizquelle vorhanden sein, wenn während sonnenarmer Tage zu wenig Strahlungsenergie verfügbar ist. Solarthermieanlagen werden üblicherweise direkt auf Hausdächern angebracht.

Die Startposition des Schiebereglers „Solarthermie“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Solarthermie am Wärmebedarf in der ausgewählten Gemeinde an, der sich auf Grundlage der BAFA-Daten ergibt (vgl. Kapitel 2). Wenn Sie den Regler „Solarthermie“ verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Solarthermie ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials (siehe Kapitel 7.6).

7.1 Wie viel Wärme (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion einer Solarthermieanlage ergibt sich durch die Multiplikation der Kollektorfläche (siehe Kapitel 7.5) mit einer gebietsbezogenen durchschnittlichen Wärmeproduktion pro Quadratmeter (berechnet auf Basis der örtlichen Potenzialflächen, siehe Kapitel 7.6).

Die so ermittelten Wärmeerträge der Bestandsanlagen werden je Gemeinde summiert und ergeben die aktuelle Wärmeproduktion aus Solarthermie pro Gemeinde.

Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Wärmebedarf und dem gewünschten, am Schieberegler „Solarthermie“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Wärmeproduktion aus Solarthermieanlagen für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 12.860 MWh/a
- Fläche der Bestandsanlagen: 2.610 m² = 0,261 ha
- durchschnittliche Wärmeproduktion pro Quadratmeter Fläche: 350 kWh/m² a = 3.500 MWh/ha a

Deckung des Wärmebedarfs durch Solarthermie		benötigte Fläche in ha	Wärmeproduktion in MWh/a		
			Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	7%	0,261	914	-	914
Vollständig	100%	0,261	914	11.946	12.860
technisches Potenzial	10%	0,261	914	372	1.286

7.2 Wie viel Leistung (MW) ist installiert?

Die Leistung ist bei Solarkollektoren kein üblicher Kennwert. Daher wird die thermische Leistung von Solarthermieanlagen nicht angezeigt.

7.3 Wie viel Strom (MWh_{el}/a) wird für den Betrieb der Anlagen benötigt?

Der Stromeinsatz für den Betrieb einer Solarthermieanlage resultiert nach dem „Solaranlagen-Ratgeber“ der ANONDI GMBH (o. J. b) aus dem Strombedarf der elektrischen Pumpe (Solarpumpe/Solarkreis-

pumpe), die in den Kreislauf der solarthermischen Anlage eingebaut ist. Sie bewegt die Wärmeträgerflüssigkeit (meist Wasser mit Frostschutzmittel, z. B. Glykol) vom Kollektor zum Speicher und wieder zurück. Bei modernen elektrischen Pumpen wird die Leistung automatisch angepasst, sodass die individuellen Heizbedürfnisse berücksichtigt werden. Sprich: Die Pumpe arbeitet nur, wenn es erforderlich ist. Solche Pumpen haben nach der CHRISTIAN MÜNCH GMBH (o. J.) heute eine Leistung von weniger als 10 Watt.

Für die Solarthermie wird für das Mischpult ein Verhältnis von 1:100 zwischen benötigter Strommenge und erzeugter Wärmemenge festgelegt. Das bedeutet, dass eine Solarthermieanlage das Hundertfache der eingesetzten Energie in Form von Wärme bereitstellt. Um 30 kWh/a Wärme mit einer Solarthermieanlage zu erzeugen, sind 0,3 kWh/a Strom erforderlich.

Ist-Stand:

Der Strombedarf bestehender Solarthermieanlagen ergibt sich, indem die Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 7.1) durch den Faktor 100 dividiert wird.

Der so ermittelte Strombedarf der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die Strommenge, die für den Betrieb der örtlichen Solarthermieanlagen benötigt wird.

Szenario:

Nach einer Veränderung des Deckungsanteils der Solarthermie am Wärmebedarf lässt sich der vor Ort benötigte Strombedarf aus der erwarteten Wärmeproduktion nach dem Ausbau (vgl. Kapitel 7.1) und dem Faktor 100 ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 12.860 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 914 MWh/a
- Faktor: 100

Deckung des Wärmebedarfs durch Solarthermie		Wärmeproduktion in MWh/a			Strombedarf für den Betrieb der Anlagen in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	7%	914	-	914	9,140	-	9
Vollständig	100%	914	11.946	12.860	9,140	119,460	129
technisches Potenzial	10%	914	372	1.286	9,140	3,720	13

7.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO₂-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Kilowattstunde Wärme liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2019 bei 313,5 g CO₂-Äq. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Wärmeerzeugungstechnologien nach LAUF ET AL. (2019) und ZERHUSEN ET AL. (2015) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2019 nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020) und dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2019). Nach LAUF ET AL. (2019: 117) werden bei der Wärmeerzeugung aus einem Solarthermie-Mix durchschnittlich 24,0 g CO₂-Äq./kWh emittiert. Dieser Wert wird im Mischpult für Solarthermieanlagen angesetzt.

Die Differenz aus den Treibhausgas-Emissionen des deutschen Wärmemix und einer Solarthermieanlage ergibt die durch die Produktion einer Kilowattstunde thermischer Energie eingesparte Menge. Dieser spezifische Vermeidungsfaktor beträgt demnach 289,5 g CO₂-Äq./kWh.

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 7.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 289,5 g CO₂-Äq./kWh ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden Solarthermieanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von Solarthermieanlagen.

Szenario:

Aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Solarthermie“ neu eingestellten Wärmeproduktion und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 7.1) lässt sich eine zusätzliche Wärmeproduktion ausrechnen, die durch neue Solarthermieanlagen erzeugt werden soll.

Das Produkt aus der Wärmeproduktion von neuen Anlagen und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 289,5 g CO₂-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher Solarthermieanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche Solarthermieanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 12.860 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 914 MWh/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor: 289,5 g CO₂-Äq./kWh
= 0,2895 t CO₂-Äq./MWh

Deckung des Wärmebedarfs durch Solarthermie		Wärmeproduktion in MWh/a			CO ₂ -Äq.-Einsparung in t CO ₂ -Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	7%	914	-	914	264,6	-	265
vollständig	100%	914	11.946	12.860	264,6	3.458,4	3.723
technisches Potenzial	10%	914	372	1.286	264,6	107,7	372

7.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Ist-Stand

Die Kollektorfläche der bestehenden Solarthermieanlagen wird aus den Daten des BAFA, die die Betreiber bei ihren Antragstellungen im Rahmen des MAP angegeben haben, übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Wärmeproduktion und dem Kehrwert der gebietsbezogenen durchschnittlichen Wärmeproduktion pro Quadratmeter (Berechnung auf Basis der örtlichen Potenzialflächen, siehe Kapitel 7.6) wird die zusätzlich benötigte Fläche für neue Solarthermieanlagen ermittelt.

Die zusätzliche Wärmeproduktion, die durch neue Solarthermieanlagen erzeugt werden soll, lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Solarthermie“ neu eingestellten Wärmeproduktion und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen ermitteln (vgl. Kapitel 7.1).

Die Fläche, die insgesamt benötigt wird, entspricht der Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des zusätzlichen Flächenbedarfs neuer Solarthermieanlagen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 12.860 MWh/a
- Fläche der Bestandsanlagen: 2.610 m² = 0,261 ha
- durchschnittliche Wärmeproduktion pro Quadratmeter Fläche: 350 kWh/m² a = 3.500 MWh/ha a

Deckung des Wärmebedarfs durch Solarthermie		Wärmeproduktion in MWh/a			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	7%	914	-	914	0,261	-	0,261
Vollständig	100%	914	11.946	12.860	0,261	3,413	4
technisches Potenzial	10%	914	372	1.286	0,261	0,106	0,367

7.6 Technisches Wärmeerzeugungspotenzial

Das technische Wärmeerzeugungspotenzial der Solarthermie wird auf in der Gemeinde nutzbaren Dachflächen ermittelt (siehe Tab. 6 und Abschnitt „Potenzialabschätzung der Solarthermienutzung“). Es wird ausschließlich die solare Trinkwassererwärmung betrachtet. Im Gegensatz zu der solaren Heizungsunterstützung werden für die solare Trinkwassererwärmung deutlich kleinere Dachflächen benötigt.

Tab. 6: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials von Solarthermie auf Dachflächen in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Nutzung der Solarthermie auf Dachflächen	Annahmen für die Nutzung der Solarthermie auf Dachflächen
Nutzung der Solarthermie auf Dachflächen – Wärmeproduktion, die auf nutzbaren Dachflächen erzeugt wird und erzeugt werden könnte.	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzbare Dachflächen abzüglich der Flächen für die Photovoltaik. • Standortspezifischer Sonneneintrag (Globalstrahlung) mit entsprechender Dachausrichtung und -neigung. • Durchschnittlicher Jahresnutzungsgrad marktüblicher Solarkollektoren in Höhe von 30 %.

Potenzialabschätzung der Solarthermienutzung

Zur Potenzialabschätzung der Solarthermienutzung ist vor allem eine differenzierte Betrachtung der tatsächlich nutzbaren Dachflächen von Bedeutung. Nicht alle Gebäude sind durch ihre Lage auf dem Grundstück, die Neigung und Orientierung der Dachflächen, Aufbauten und gegenseitige Gebäudeverschattungen ideal für eine Solarthermienutzung geeignet. Bauliche Nebenanlagen (z. B. Garagen, Gartenhäuser) und Gebäude, die im Rahmen des Denkmalschutzes oder Ensemble-Schutzes gelistet sind, werden von der Berechnung ausgeschlossen.

Für die Trinkwassererwärmung durch Solarthermieanlagen werden ausschließlich Gebäude mit geneigten Dächern berücksichtigt. Ob ein Gebäude eher ein geneigtes Dach hat, wird anhand seines

Verhältnisses zwischen Umfang und Grundfläche entsprechend der Angabe aus der ersten Detaillierungsstufe des 3-D-Gebäudemodells von Bayern (Level of Detail 1)⁵ entschieden.

Neben der Solarthermienutzung bietet sich für Wohngebäude die Option, einen Teil des Stromverbrauchs über eine Photovoltaik-Anlage abzudecken. Ein konkurrierendes Nutzungsszenario soll jedoch möglichst ausgeschlossen werden. Daher wird auf den berechneten Potenzialflächen sowohl ein Anteil für Photovoltaikanlagen als auch ein Anteil für die solarthermische Nutzung vorgesehen (vgl. Info-Blatt [Information zur Berechnung – Stromversorgung aus erneuerbaren Energien](#), siehe Schieberegler „Photovoltaik-Dachfläche“, technisches Stromerzeugungspotenzial aus Solarenergie (PV-Dachfläche)). Die notwendige Fläche einer solarthermischen Anlage wird der Vornorm DIN V 4701-10 entnommen. Sie wird über die Größe der Energiebezugsfläche des Gebäudes, die entsprechend des GEBÄUDEENERGIEGESETZES (2020) nach der Vornorm DIN V 18599 (2018-09) ermittelt wird (beheiztes Gebäudevolumen multipliziert mit $0,32 \text{ m}^{-1}$), zugewiesen.

Die Multiplikation der für Solarthermieanlagen vorgesehenen Potenzialfläche eines Gebäudes, dem standortspezifischen Sonneneintrag (Globalstrahlung) nach dem DEUTSCHEN WETTERDIENST (2020), einer damit verbundenen Dachausrichtung und -neigung, mit dem Jahresnutzungsgrad einer durchschnittlichen Solarthermieanlage ergibt den technisch möglichen Ertrag durch Nutzung der Solarthermie auf der Dachfläche. Der Jahresnutzungsgrad wird als Abminderungsfaktor bezogen auf die Solarstrahlung in Höhe von 30 % nach der TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN (2011: 36) festgelegt, da nur ein bestimmter Anteil der eintreffenden Solarstrahlung als nutzbar erachtet wird (Wärmeverluste durch Konvektion, Wärmestrahlung, Wärmeleitung).

Die Summe der technisch möglichen Erträge, die auf allen für Solarthermie vorgesehenen Potenzialflächen der gemeindezugehörigen Gebäude ermittelt wird, ergibt das technische Potenzial für die Nutzung der Solarthermie auf Dachflächen in einer Gemeinde.

⁵ Die erste Detaillierungsstufe des 3-D-Gebäudemodells von Bayern wird nach der Bayerischen Vermessungsverwaltung als Level of Detail 1 (LoD1) oder auch als Klötzchenmodell bezeichnet. Dieses Modell basiert auf den Gebäudegrundrissen aus ALKIS und Airborne-Laserscanning-Daten. Dachformen werden im LoD1 nicht berücksichtigt. Jedes Gebäude erhält ein Flachdach. Die tatsächliche Dachform der Gebäude wird in der zweiten Detaillierungsstufe des 3-D-Gebäudemodells von Bayern, auch Level of Detail 2 (LoD2) genannt, erfasst. Die LoD2-Daten liegen jedoch noch nicht flächendeckend vor.

8 Schieberegler „Energie aus der Umgebungsluft“

Die Energie aus der Umgebungsluft beziehungsweise der Außenluft wird nach der Website „Heizungsfinder“ der DEUTSCHEN AUFTRAGSAGENTUR GMBH (o. J.) mittels Luftwärmepumpe zum Heizen oder Kühlen von Innenräumen und zur Bereitstellung von Warmwasser genutzt. Der Umgebungsluft beziehungsweise der Außenluft wird hierfür zunächst mithilfe eines zuvor entspannten und damit abgekühlten Mediums (Kältemittel) Wärme entzogen. Beim Verdichten des Mediums erhitzt sich das Medium weiter und die gewonnene Wärme kann (bei entsprechendem Temperaturniveau) z. B. zu Heizungszwecken verwendet werden. Für die Verdichtung des Mediums wird analog zum Kühlschrank Energie in Form von Strom benötigt.

Die Startposition des Schiebereglers „Energie aus der Umgebungsluft“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Energie aus der Umgebungsluft am Wärmebedarf in der ausgewählten Gemeinde an, der sich auf Grundlage der BAFA-Daten ergibt (vgl. Kapitel 2). Wenn Sie den Regler „Energie aus der Umgebungsluft“ verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Energie aus der Umgebungsluft ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzi als (siehe Kapitel 8.6).

8.1 Wie viel Wärme (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion einer Luftwärmepumpe ergibt sich durch die Multiplikation der Nennleistung (siehe Kapitel 8.2) mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl einer Heizungsanlage in Höhe von rund 1.700 h/a nach ARNDT (2012: 9).

Die so ermittelten Wärmeerträge der Bestandsanlagen werden je Gemeinde summiert und ergeben die aktuelle Wärmeproduktion aus der Energie der Umgebungsluft pro Gemeinde.

Szenario:

Aus der gemeindespezifischen Wärmeproduktion und dem gewünschten, am Schieberegler „Energie aus der Umgebungsluft“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Wärmeproduktion durch Nutzung von Luftwärmepumpen für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.501 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 310 MWh/a

Deckung des Wärmebedarfs durch Energie aus der Umgebungsluft		Wärmeproduktion in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	310	-	310
Vollständig	100%	310	15.191	15.501
technisches Potenzial	7%	310	775	1.085

8.2 Wie viel Leistung (MW) ist installiert?

Ist-Stand:

Die Leistung der bestehenden Luftwärmepumpen wird aus den Daten des BAFA, die die Betreiber bei ihren Antragstellungen im Rahmen des MAP angegeben haben, übernommen und je Gemeinde summiert.

Sofern für Anlagen keine Leistung aufgeführt ist, wird für jeden Heizungsanlagentyp ein spezifischer Leistungskennwert angesetzt. Diese spezifischen Leistungskennwerte entsprechen nach eigener Berechnung jeweils dem mittleren Wert aller bayerischen Anlagen des gleichen Heizungsanlagentyps.

Szenario:

Nach einer Veränderung des Deckungsanteils der Energie aus der Umgebungsluft am Wärmebedarf lässt sich die dafür notwendige Gesamtanlagenleistung aus der erwarteten Wärmeproduktion nach dem Ausbau (vgl. Kapitel 8.1) und den spezifischen Volllaststunden einer Heizungsanlage in Höhe von rund 1.700 h/a nach ARNDT (2012: 9) ermitteln.

Es wird die künftige Leistung von Luftwärmepumpen angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Wärmebedarf durch den Einsatz von Luftwärmepumpen zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.501 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 310 MWh/a
- Leistung der Bestandsanlagen: 0,150 MW
- durchschnittliche Volllaststundenzahl: 1.700 h/a

Deckung des Wärmebedarfs durch Energie aus der Umgebungsluft		Wärmeproduktion in MWh/a			Leistung in MW		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	310	-	310	0,150	-	0,150
Vollständig	100%	310	15.191	15.501	0,150	8,936	9
technisches Potenzial	7%	310	775	1.085	0,150	0,456	1

8.3 Wie viel Strom (MWh_{el}/a) wird für den Betrieb der Anlagen benötigt?

Eine Luftwärmepumpe wird mit Strom angetrieben. Wie viel Strom eine Luftwärmepumpe benötigt, hängt beispielsweise stark vom Dämmstandard des Gebäudes, von der Art der Wärmeübertragung (Fußbodenheizung oder Heizkörper) und vom individuellen Wärmebedarf ab. Entscheidend sind aber vielmehr die im jahreszeitlichen Verlauf schwankenden Temperaturdifferenzen zwischen der Wärmequelle (außen) und der Wärmesenke (innen). Im Sommer ist bei hohen Außentemperaturen der Heizwärmebedarf gering und die Luftwärmepumpe benötigt weniger Strom. Im Winter, wenn der Heizwärmebedarf groß ist, liegen die Temperaturen der Umgebungsluft relativ niedrig. Die Luftwärmepumpe verbraucht dann mehr Strom. Nach BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPE E.V. (2011: 13) arbeitet eine Luftwärmepumpe in diesem Fall etwas weniger effizient als erdgekoppelte Systeme (vgl. Kapitel 6.3). Durch den geringeren Bauaufwand können jedoch Investitionskosten eingespart werden.

Eine Aussage über die Effizienz einer Wärmepumpenanlage gibt nach BLECKMANN ET AL. (2013: 3) die Jahresarbeitszahl. Das Verhältnis zwischen der jährlich abgegebenen Nutzwärme und dem jährlich eingesetzten Strom wird mit der Jahresarbeitszahl beschrieben. Eine Jahresarbeitszahl von 3,0 bedeutet beispielsweise, dass eine Wärmepumpe in einem Jahr etwa das Dreifache des eingesetzten Stroms in Form von Wärme bereitstellt: um 30 kWh/a Wärme mit einer Luftwärmepumpe zu erzeugen, sind 10 kWh/a Strom erforderlich.

Nach MIARA ET AL. (2014: 42, 43, 49f) erzielen Luftwärmepumpen im Mittel eine Jahresarbeitszahl von etwa 3, wenn direkt hinter der Wärmepumpe gemessen wird. Etwaige Energieverluste vorhandener Speicher sind dabei nicht berücksichtigt. Würde die Messung also erst hinter dem Speicher durchgeführt

und die tatsächliche Nutzwärme bilanziert werden, so würde die durchschnittliche Jahresarbeitszahl um etwa 8 % bis 14 % kleiner ausfallen.

Für die Berechnung des Strombedarfs im Mischpult wird zur Vereinfachung für Luftwärmepumpen die durchschnittliche Jahresarbeitszahl in Höhe von 3 angesetzt. Dieser Wert berücksichtigt technischen Fortschritt, geeignete Objekte und eine fachmännische Umsetzung. Diese Jahresarbeitszahl wird zur individuellen Planung einer Luftwärmepumpe jedoch nicht pauschal empfohlen. Die fachmännische Beratung vor Ort ist hier maßgebend.

Ist-Stand:

Der Strombedarf bestehender Luftwärmepumpen ergibt sich, indem die Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 8.1) durch eine spezifische Jahresarbeitszahl in Höhe von 3 dividiert wird.

Der so ermittelte Strombedarf der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die Strommenge, die für den Betrieb der örtlichen Luftwärmepumpen benötigt wird.

Szenario:

Nach einer Veränderung des Deckungsanteils der Energie aus der Umgebungsluft am Wärmebedarf lässt sich der vor Ort benötigte Strombedarf aus der erwarteten Wärmeproduktion nach dem Ausbau (vgl. Kapitel 8.1) und der spezifischen Jahresarbeitszahl in Höhe von 3 ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.501 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 310 MWh/a
- Jahresarbeitszahl: 3

Deckung des Wärmebedarfs durch Energie aus der Umgebungsluft		Wärmeproduktion in MWh/a			Strombedarf für den Betrieb der Anlagen in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	310	-	310	103,333	-	103
Vollständig	100%	310	15.191	15.501	103,333	5.063,667	5.167
technisches Potenzial	7%	310	775	1.085	103,333	258,333	362

8.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO₂-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Kilowattstunde Wärme liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2019 bei 313,5 g CO₂-Äq. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Wärmeerzeugungstechnologien nach LAUF ET AL. (2019) und ZERHUSEN ET AL. (2015) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2019 nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020) und dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2021). Nach LAUF ET AL. (2019: 120f) werden bei der Wärmeerzeugung aus Luftwärmepumpen durchschnittlich 192,1 g CO₂-Äq./kWh emittiert. Dieser Wert wird im Mischpult für Luftwärmepumpen angesetzt.

Die Differenz aus den Treibhausgas-Emissionen des deutschen Wärmemix und einer Luftwärmepumpe ergibt die durch die Produktion einer Kilowattstunde thermischer Energie eingesparte Menge. Dieser spezifische Vermeidungsfaktor beträgt demnach 121,4 g CO₂-Äq./kWh.

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 8.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 121,4 g CO₂-Äq./kWh ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden Luftwärmepumpen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden Luftwärmepumpen.

Szenario:

Aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Energie aus der Umgebungsluft“ neu eingestellten Wärmeproduktion und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 8.1) lässt sich eine zusätzliche Wärmeproduktion ausrechnen, die durch neue Luftwärmepumpen erzeugt werden soll.

Das Produkt aus der Wärmeproduktion von neuen Anlagen und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 121,4 g CO₂-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher Luftwärmepumpen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche Luftwärmepumpen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 15.501 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 310 MWh/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor: 121,4 g CO₂-Äq./kWh
= 0,1214 t CO₂-Äq./MWh

Deckung des Wärmebedarfs durch Energie aus der Umgebungsluft		Wärmeproduktion in MWh/a			CO ₂ -Äq.-Einsparung in t CO ₂ -Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	2%	310	-	310	38	-	38
Vollständig	100%	310	15.191	15.501	38	1.844	1.882
technisches Potenzial	7%	310	775	1.085	38	94	132

8.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Luftwärmepumpen werden in der Regel innerhalb bestehender Siedlungsstrukturen errichtet. Die Aufstellung einer Luftwärmepumpe erfolgt meist direkt an der Hauswand oder im Keller des Gebäudes. Dafür entsteht grundsätzlich kein zusätzlicher Flächenbedarf.

8.6 Technisches Wärmeerzeugungspotenzial der Nutzung der Energie aus der Umgebungsluft

Das Potenzial zur Nutzung der Energie aus der Umgebungsluft ist durch die Eignung des Gebäudebestands zur Nutzung entsprechender Niedertemperaturheizungssysteme bestimmt.

Das technische Wärmeerzeugungspotenzial der Nutzung der Energie aus der Umgebungsluft in einer Gemeinde umfasst nach Einschätzung der BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015) die Wärmeproduktion, die Gebäude ab dem Baujahr 2009 zur Wärmeversorgung benötigen würden (siehe Tab. 7). Diese Wärmeproduktion wird aus der Berechnung des Wärmebedarfs der Wohngebäude abgeleitet (siehe [Informationen zu den Rahmendaten: Wärmebedarf](#)).

Tab. 7: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials der Nutzung der Energie aus der Umgebungsluft in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Nutzung der Energie aus der Umgebungsluft	Annahmen für die Nutzung der Energie aus der Umgebungsluft
<p>Nutzung der Energie aus der Umgebungsluft – Wärmeproduktion, die den Wärmebedarf der Gebäude ab Baujahr 2009 deckt.</p>	<p>Gebäude ab dem Baujahr 2009 mit Niedertemperaturheizungssystemen und guter Gebäudedämmung sind grundsätzlich geeignet, auf diese Weise mit Wärme versorgt zu werden. Der Wärmebedarf dieser Gebäude stellt somit das technisch nutzbare Potenzial dar.</p>

Unter „Schritt 2 Wärmesparziel einstellen“ besteht im Mischpult „Wärme“ die Möglichkeit, Sanierungsszenarien einzustellen. Sollen Gebäude auf einen bestimmten durchschnittlichen Endenergiebedarf (Heizung) saniert werden, so wirkt sich diese Einstellung auf das Potenzial zur Nutzung von Energie aus der Umgebungsluft aus. Das berechnete Potenzial wird erhöht, wenn der durchschnittliche Endenergiebedarf (Heizung) für die zu sanierenden Gebäude unter 70 kWh/m² a bleibt.

Gebäude, die auf einen Heizwärmebedarf von höchstens 70 kWh/m² a saniert werden, können nach Einschätzung der BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015 c) technisch mit einer Luftwärmepumpe ausgestattet werden. Luftwärmepumpen haben aber gerade bei niedrigen Außentemperaturen einen relativ schlechten Wirkungsgrad. Der Einsatz muss deshalb im Einzelfall geprüft werden. Allgemein empfehlenswert ist die Installation einer Luftwärmepumpe bei einem spezifischen Heizwärmebedarf von weniger als 30 kWh/m² a. Im bayerischen 10.000-Häuser-Programm sind Luftwärmepumpen erst bei einem maximalen Heizwärmebedarf von 15 kWh/m² a (Passivhausstandard oder ersatzweise 10 kWh/m² a nach dem GEBÄUDEENERGIEGESETZ (2020)) förderfähig.

9 Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“

Der Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen“ umfasst Holz-beschickte Feuerungsanlagen im Haushaltsbereich (bis 100 kW). Dabei wird zwischen Zentralholzheizungsanlagen (z. B. Holzhackschnitzelkesseln, Holzpelletkesseln, Scheitholzvergaserkesseln) und Einzelfeuerstätten (z. B. Kaminen, Zimmeröfen, Pelletöfen) unterschieden.

Die Startposition des Schiebereglers „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen am Wärmebedarf in der ausgewählten Gemeinde an, der sich teilweise auf Grundlage der BAFA-Daten ergibt (vgl. Kapitel 2). Wenn Sie den Regler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“ verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Biomasse ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials (siehe Kapitel 9.6).

9.1 Wie viel Wärme (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion der bestehenden Zentralholzheizungsanlagen ergibt sich durch die Multiplikation der Nennleistung (siehe Kapitel 9.2) mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl einer Heizungsanlage in Höhe von rund 1.700 h/a nach ARNDT (2012: 9).

Sofern für Anlagen keine Leistung aufgeführt ist, wird für jeden Feuerungsanlagentyp ein spezifischer Leistungskennwert angesetzt. Diese spezifischen Leistungskennwerte entsprechen nach eigener Berechnung jeweils dem mittleren Wert aller bayerischen Anlagen des gleichen Feuerungsanlagentyps.

Die Wärmeproduktion der bestehenden Einzelfeuerstätten wird in Abstimmung mit der LWF je Gemeinde berechnet. Mithilfe der Ergebnisse der Privathaushaltsbefragung in Bayern nach GÖßWEIN ET AL. (2018: 53ff.) hat die LWF die Verteilung von Einzelfeuerstätten in den Haushalten nach Gebäudebautypen abgeschätzt. Es wird angenommen, dass rund 70 % der Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäusern mit einer Einzelfeuerstätte ausgestattet sind, und sich in etwa 8,6 % der Haushalte in Mehrfamilienhäusern eine Einzelfeuerstätte befindet.

Für eine Einzelfeuerstätte wird eine durchschnittliche Wärmeproduktion in Höhe von 2.419 kWh/a angesetzt. Diese ergibt sich nach BORCHERT (2017) aus einem Holzbedarf von Einzelfeuerstätten in Höhe von 1,4 m³/a, einem Heizwert von Scheitholz in Höhe von 2.304 kWh/m³ und einem Wirkungsgrad in Höhe von 75 %.

Aus der Anzahl der Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäusern nach LFSTAT (2017), dem Einzelfeuerstättenanteil der Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäusern in Höhe von rund 70 % und der durchschnittlichen Wärmeproduktion in Höhe von 2.419 kWh/a ergibt sich die Wärmeproduktion aller Einzelfeuerstätten, die sich in Ein- und Zweifamilienhäusern befinden.

Genauso wird bei der Berechnung der Wärmeproduktion für Einzelfeuerstätten, die sich in Mehrfamilienhäusern befinden, verfahren. Die Anzahl der Haushalte in Mehrfamilienhäusern nach LFSTAT (2017) und die durchschnittliche Wärmeproduktion von Einzelfeuerstätten in Höhe von 2.419 kWh/a werden dann mit dem Einzelfeuerstättenanteil der Haushalte in Mehrfamilienhäusern in Höhe von etwa 8,6 % multipliziert.

Die so ermittelte Wärmeproduktion der Bestandsanlagen wird je Gemeinde summiert und ergibt die aktuelle Wärmeproduktion aus Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen je Gemeinde.

Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Wärmebedarf und dem gewünschten, am Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Wärmeproduktion aus Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 41.328 MWh/a
- Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 6.199 MWh/a

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen		Wärmeproduktion in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15%	6.199	-	6.199
Vollständig	100%	6.199	35.129	41.328
technisches Potenzial	17%	6.199	827	7.026

9.2 Wie viel Leistung (MW_{th}) ist installiert?

Die Leistung der bestehenden Zentralholzheizungsanlagen kann aus den Daten des BAFA entnommen werden, die die Betreiber bei ihren Antragstellungen im Rahmen des MAP angegeben haben.

Da Angaben zur thermischen Leistung nur für Zentralholzheizungsanlagen zur Verfügung stehen, nicht jedoch für Einzelfeuerstätten, wird die Leistung für Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen nicht angezeigt.

9.3 Wie viel Strom (MWh_e/a) wird für den Betrieb der Anlagen benötigt?

Der Strombedarf von Zentralholzheizungsanlagen resultiert nach HARTMANN ET AL. (2013: 150) aus dem Hilfsenergiebedarf aller elektrischen Komponenten (z. B. Verbrennungsluftgebläse, Brennstoffförderung, Regelung).

Für Einzelfeuerstätten fällt grundsätzlich kein oder nur ein geringfügiger Strombedarf an, der in der weiteren Berechnung im Mischpult vernachlässigt wird.

Ist-Stand:

Der Strombedarf für Zentralholzheizungsanlagen entspricht einem durchschnittlichen Anteil in Höhe von 2 % an der jährlich erzeugten Wärmemenge (vgl. Kapitel 9.1). Dieser Mittelwert ergibt sich aus den Prozentangaben für automatisch beschickte Hackschnitzel- oder Pelletfeuerungen mit 2,5 % und für Scheitholzfeuerungen mit 1,5 % nach HARTMANN ET AL. (2013: 150).

Der so ermittelte Strombedarf der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die Strommenge, die für den Betrieb der örtlichen Zentralholzheizungsanlagen benötigt wird.

Szenario:

Nach einer Veränderung des Deckungsanteils der Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen am Wärmebedarf lässt sich der vor Ort benötigte Strombedarf aus der erwarteten Wärmeproduktion von Zentralholzheizungsanlagen nach dem Ausbau (vgl. Kapitel 9.1) und dem durchschnittlichen Strombedarf mit einem Anteil in Höhe von 2 % ermitteln. Auch im Szenario fällt für zusätzliche Einzelfeuerstätten kein Strombedarf an.

Die erwartete Wärmeproduktion von Zentralholzheizungsanlagen nach dem Ausbau ergibt sich daher aus der Differenz der mit dem Schieberegler neu eingestellten Wärmeproduktion (vgl. Kapitel 9.1) und der gleichermaßen veränderten Wärmeproduktion der bestehenden und neuen Einzelfeuerstätten. Die

Wärmeproduktion von bestehenden und neuen Einzelfeuerstätten ergibt sich aus der Multiplikation der Wärmeproduktion der bestehenden Einzelfeuerstätte und dem Veränderungsfaktor aus dem neu eingestellten Anteil am Wärmebedarf und dem Anteil des Ausbaustands.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 41.328 MWh/a
 - Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 6.199 MWh/a
 - Zentralholzheizungsanlagen: 4.457 MWh/a
 - Einzelfeuerstätten: 1.742 MWh/a
 - Strombedarf der Zentralholzheizungsanlagen: 2 % der jährlich erzeugten Wärmemenge
- Veränderungsfaktor für
Einzelfeuerstätten: $100 \% / 15 \% = 6,67$ beziehungsweise
 $17 \% / 15 \% = 1,13$

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen		Wärmeproduktion in MWh/a			Strombedarf für den Betrieb der Anlagen in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15%	6.199	-	6.199	89	-	89
Vollständig	100%	6.199	35.129	41.328	89	505	594*
technisches Potenzial	17%	6.199	827	7.026	89	12	101*

* Rechenweg: $(41.328 - 1.742 \times 6,67) \times 0,02 = 594$; $(41.328 - 1.742 \times 1,13) \times 0,02 = 101$

9.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO₂-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Kilowattstunde Wärme liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2019 bei 313,5 g CO₂-Äq. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Wärmeerzeugungstechnologien nach LAUF ET AL. (2019) und ZERHUSEN ET AL. (2015) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2019 nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020) und dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2021). Nach LAUF ET AL. (2019: 87f) werden bei der Wärmeerzeugung aus fester Biomasse, die Einzel-, Scheitholz- und Pelletfeuerungen zugeführt wird, durchschnittlich 48,4 g CO₂-Äq./kWh emittiert. Dieser Wert wird im Mischpult für Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen angesetzt.

Die Differenz aus den Treibhausgas-Emissionen des deutschen Wärmemix und der jeweiligen Biomasse-Kleinfeuerungsanlage ergibt die durch die Produktion einer Kilowattstunde Wärme eingesparte Menge. Dieser spezifische Vermeidungsfaktor beträgt demnach 265,1 g CO₂-Äq./kWh.

Ist-Stand:

Die Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 9.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen in Höhe von 265,1 g CO₂-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen.

Szenario:

Aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (< 100 kW)“ neu eingestellten Wärmeproduktion und der Wärmeproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 9.1) lässt sich eine zusätzliche Wärmeproduktion ausrechnen, die durch neue Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen erzeugt werden soll.

Das Produkt aus der Wärmeproduktion von neuen Anlagen und dem spezifischen Vermeidungsfaktor von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen in Höhe von 265,1 g CO₂-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 41.328 MWh/a
 - Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 6.199 MWh/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor 265,1 g CO₂-Äq./kWh
= 0,2651 t CO₂-Äq./MWh

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen		Wärmeproduktion in MWh/a			CO ₂ -Äq.-Einsparung in t CO ₂ -Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15%	6.199	-	6.199	1.643,4	-	1.643
Vollständig	100%	6.199	35.129	41.328	1.643,4	9.312,7	10.956
technisches Potenzial	17%	6.199	827	7.026	1.643,4	219,2	1.863

9.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Als spezifischer Flächenbedarf (inklusive Waldfläche) werden für Zentralholzheizungen 0,045 ha/MWh_{th} und für Einzelfeuerstätten 0,053 ha/MWh_{th} angesetzt. Diese Faktoren ergeben sich jeweils aus dem Kehrwert der thermischen Energie pro Waldfläche, die für Zentralholzheizungsanlagen bei 22,434 MWh_{th}/ha und für Einzelfeuerstätten bei 18,695 MWh_{th}/ha liegt. Die thermische Energie pro Waldfläche wird aus dem Energiegehalt forstwirtschaftlicher Biomasse pro Waldfläche in Höhe von 24,926 MWh/ha (berechnet aus Angaben zum jährlichen Zuwachs nach THÜNEN-INSTITUT (2012 a), zur Raumdichte nach KNIGGE ET AL. (1966) und zum Heizwert nach HARTMANN ET AL. (2013: 50) und zur Waldfläche in Bayern nach THÜNEN-INSTITUT (2012 b)) und einem thermischen Wirkungsgrad von Einzelfeuerstätten in Höhe von 75 % nach HARTMANN (2013: 111) beziehungsweise von Zentralholzheizungen in Höhe von 90 % nach HARTMANN (2013: 112).

Aufgrund des geringeren thermischen Wirkungsgrades ist der spezifische Flächenbedarf für Einzelfeuerstätten höher als der spezifische Flächenbedarf von Zentralholzheizungen.

Ist-Stand:

Um den Flächenbedarf der bestehenden Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen zu berechnen, wird zunächst die Wärmemenge ausgerechnet, die mit Waldholz produziert wird. Dazu wird der Anteil von Waldholz am Brennstoffmix von Einzelfeuerstätten in Höhe von 79 % und von Zentralholzheizungen in Höhe von 69% nach BORCHERT (2020) mit der Wärmemenge multipliziert (vgl. Kapitel 9.1). Die durch Waldholz erzeugte Wärmemenge wird dann mit dem spezifischen Flächenbedarf für Zentralholzheizungen in Höhe von 0,045 ha/MWh_{th} und für Einzelfeuerstätten von 0,053 ha/MWh_{th} multipliziert.

Der so ermittelte Flächenbedarf der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die Waldfläche, die für die Befeuerung der örtlichen Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen benötigt wird.

Szenario:

Der Flächenbedarf nach dem Ausbau ist das Produkt aus dem Flächenbedarf der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 9.1) und dem Veränderungsfaktor aus dem neu eingestellten Anteil am Wärmebedarf und dem Anteil des Ausbaustands.

Die Fläche, die insgesamt benötigt wird, entspricht der Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des zusätzlichen Flächenbedarfs neuer Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Wärmebedarf gesamt: 41.328 MWh/a
 - Wärmeproduktion der Bestandsanlagen: 6.199 MWh/a
 - Zentralholzheizungsanlagen: 4.457 MWh/a
 - Einzelfeuerstätten: 1.742 MWh/a
 - Waldholzanteil am Brennstoffmix:
 - Zentralholzheizungsanlagen: 69%
 - Einzelfeuerstätten: 79 %
 - spezifischer Flächenbedarf
 - Zentralholzheizungsanlagen: 0,045 ha/MWh (Bestand)
 - Einzelfeuerstätten: 0,053 ha/MWh (Bestand)
- Veränderungsfaktor: 100 % / 15 % = 6,67 beziehungsweise
17 % / 15 % = 1,13

Deckung des Wärmebedarfs durch Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen		Wärmeproduktion in MWh/a			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15%	6.199	-	6.199	211,3	-	211
Vollständig	100%	6.199	35.129	41.328	211,3	1.197,7	1.409*
technisches Potenzial	17%	6.199	827	7.026	211,3	27,7	239*

* Rechenweg: $211,3 \times 6,67 = 1.409$; $211,3 \times 1,13 = 238,8 \approx 239$

9.6 Technisches Wärmeerzeugungspotenzial der Energieholznutzung

Einführende Informationen und die grundsätzliche Berechnungsmethode des Potenzials der Energieholznutzung können Sie dem gleichnamigen Abschnitt in der Beschreibung des Schiebereglers „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ entnehmen (vgl. Kapitel 3.6). Die dort zu findende Beschreibung der Berechnung des zusätzlichen, lokal noch ungenutzten Energieholzes und der Potenzialabschätzung aus Waldholz gelten gleichermaßen für den Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ und den Schieberegler „Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (bis 100 kW)“.

Nach BORCHERT (2020) wird für Zentralholzheizungsanlagen ein durchschnittlicher Waldholzanteil am Brennstoffmix in Höhe von 69 % und für Einzelfeuerstätten in Höhe von 79 % herangezogen, um grob abzuschätzen, wie viel Waldholz in den vor Ort bestehenden Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen bereits verbrannt wird. Für den Rest wird angenommen, dass er über Industrieholz, Sägenebenprodukte, Industrierestholz, Holz aus Kurzumtriebsplantagen und Flur- und Siedlungsholz gedeckt wird. Die entsprechenden Waldholzanteile am Brennstoffmix für Biomasseheiz(kraft)werke können Sie der Beschreibung zum Schieberegler „Biomasse für Heiz(kraft)werke“ entnehmen (vgl. Kapitel 3.6).

Literaturverzeichnis

- ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (2020): Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland. Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungszwecken. Detaillierte Anwendungsbilanzen der Endenergiesektoren für 2018 und 2019 sowie zusammenfassende Zeitreihen zum Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungszwecken für Jahre von 2009 bis 2019. Stand: November 2019. www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_19_v3.pdf (Abruf im August 2021)
- ANONDI GMBH (o. J. a): Solarthermie, Solarthermie Funktionen, Grundsätzliches zur Solarthermie. www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-funktionen/solarthermie (Abruf im August 2021)
- ANONDI GMBH (o. J. b): Solarthermie, Solarthermie Funktionen, Umwälzpumpe. www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-technik/umwaelzpumpe (Abruf im August 2021)
- ARNDT, M. (2012): Wirtschaftliche und technische Kennzahlen. – Neumarkt: CARMEN e.V. – Straubing.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (LFSTAT) (2021): Gebäude- und Wohnungsbestand: Gemeinden, Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche, Zahl der Wohnungen, Stichtag, Bezugsjahr: 2019 – In: Datenbank GENESIS-Online. www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/data?operation=abrufabelleAbrufen&selectionname=31231-003r&levelindex=1&levelid=1514906923901&index=5 (Abruf im August 2021)
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU) (2019): Daten genehmigungspflichtiger Biomasseanlagen nach Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG). – Auswertung der Emissionsberichte. Stand 31.12.2016. – Augsburg.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (o. J. a): Tiefe Geothermie. Die Nutzung der tiefen Geothermie in Bayern. - www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/geothermie_tief (Abruf im August 2021)
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (o. J. b): UmweltAtlas Bayern. Standorteignung Oberflächennahe Geothermie. www.lfu.bayern.de/geologie/oberflaechennahe_geothermie/index.htm (Abruf im August 2021)
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, LANDESENTWICKLUNG UND ENERGIE (STMWI VORMALS StMWIVT) (2012): Bayerischer Geothermieatlas. Hydrothermale Energiegewinnung. Aktualisierte Fassung 2019. München. www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Publikationen/2019/2019-03-19_Bayerischer_Geothermieatlas_2019.pdf (Abruf im August 2021)
- BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG (o. J.): Produkt, 3D-Produkte, 3D-Gebäudemodell. - www.ldbv.bayern.de/produkte/3dprodukte/3d.html (Abruf im August 2021)
- BEIL, M.; DANIEL-GROMKE, J.; DENYSENKO, V.; HENNIG, C.; HILLEBRAND, K.; KASTEN, J.; NAUMANN, K.; W.; PEETZ, D.; RENSBERG, N.; SCHEFTELOWITZ, M.; STINNER, W.; VOGEL, L. (2015): Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben IIa Biomasse). – Zwischenbericht des DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH und Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES. – 161 S., Leipzig. www.dbfz.de/fileadmin/eeg_monitoring/berichte/01_Monitoring_ZB_Mai_2015.pdf (Abruf im August 2021)
- BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015 a): eigene Analyse, Mittelwert über 24 Biomasseheizkraftwerke. – Augsburg.
- BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015 b): eigene Analyse, Mittelwert über 12 Biomasseheizkraftwerke. – Augsburg.
- BIFA UMWELTINSTITUT GMBH (2015 c): persönliche Mitteilung. Bifa Umweltinstitut GmbH, Am Mittleren Moos 46, 86167 Augsburg

- BIOMASSE-HEIZKRAFTWERK PFAFFENHOFEN GMBH (o. J.): Umwelt freundliche Energie für Industrie, Stadt und Landkreis „Pfaffenhofen hat das Klimaschutzziel erreicht“. – Pfaffenhofen.
- BLECKMANN, F.; KUMMER S.; LANDGRAF, C.; LANDMEYER N.; SCHULZE M.; WENZEL D. (2004): Oberflächennahe Geothermie. – In: Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.]: UmweltWissen – Klima & Energie, Neufassung 2010, Aktualisierung der Links August 2013. 12 S. – Augsburg. – www.lfu.bayern.de/umwelt-wissen/doc/uw_107_oberflaechennahe_geothermie.pdf (Abruf im August 2021)
- BLESLE M.; BRIEM, S.; FAHL, U.; OHL, M. (UNIVERSITÄT STUTTGART, INSTITUT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT UND RATIONELLE ENERGIEANWENDUNG); KREWITT, W.; VIEBAHN, P. (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT UND RAUMFAHRT; RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM), GÜRZENICH, D.; TRYFONIDOU, R.; WAGNER, H. (LEHRSTUHL FÜR ENERGIESYSTEME UND ENERGIEWIRTSCHAFT); CORRADINI, R.; RICHTER, S. (FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT) (2002): Lebenszyklusanalysen ausgewählter zukünftiger Stromerzeugungstechniken. – www.fermenter-doktor.com/pdf/pub/Briem_et_al2004_BMWI-LCI-Bericht_ktr670.pdf (Abruf im August 2021)
- BORCHERT, H. (2020): Persönliche Mitteilung. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising
- BORCHERT, H.; RENNER F. (2018a): Holzaufkommen und Waldumbau: ein Szenario für Bayern. AFZ/Der Wald Nr. 1 S.37-39. www.forstpraxis.de/wp-content/uploads/AFZ_Jahresinhaltsverzeichnis_2018.pdf (Abruf im August 2021)
- BORCHERT, H.; RENNER F. (2018b): Die Berechnung regionaler Energieholzpotenziale in Verbindung mit einer Bestandeshöhenmodellierung in Bayern. FowiTa 2018 vom 24.-27.09.2018. Vortrag am 24.09.2018
- BORCHERT, H. (2017): Persönliche Mitteilung. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising
- BORCHERT, H. (2005): Holzaufkommensprognose für Bayern. – In: LWF Wissen Nr. 50. – www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w50_holzaufkommensprognose_fuer_bayern_gesamtheft_gesch.pdf (Abruf im August 2021)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2021): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Tabelle 5: Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte 1990 bis 2020, Stand: Februar 2021, MS-Excel-Dokument, www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2020-excel.xlsx;jsessionid=2232BE4B9DEC2FBD3734B4D8C05D6FC7?__blob=publicationFile&v=27 (Abruf im August 2021)
- BUNDESAMT FÜR WIRTSCHAFT UND AUSFUHRKONTROLLE (BAFA) (2020): Förderstatistik zur Förderung von Anlagen zur Verbrennung fester Biomasse, Solarthermieanlagen oder effizienten Wärmepumpen im Rahmen des Marktanzreizprogramms (MAP, Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt) für den Zeitraum 1999 bis 2019 für Bayern [Excel-Tabelle]. – Eschborn.
- BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V. (o. J.): Geothermie: Einstieg in die Geothermie. – www.geothermie.de/geothermie/einstieg-in-die-geothermie.html (Abruf im August 2021)
- BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPE E.V. (2011): Heizen mit Wärmepumpen. Klimafreundlich, zukunftssicher, wartungsarm. Energie aus Erde Wasser Luft – Berlin.
- CHRISTIAN MÜNCH GMBH (o. J.): Wissen, Solarpumpe. - www.solarthermie.net/wissen/solarpumpe (Abruf im August 2021)

- DACHS, G.; REHM, W. (2006): Der Eigenstromverbrauch von Biogasanlagen und Potentiale zur dessen Reduzierung. München: Solarenergieförderverein Bayern e. V. und BASE TECHNOLOGIES GmbH. München. – www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2019/01/SeV_BASE-Studie_Biogas-Eigenverbrauch_2006.pdf (Abruf im August 2021)
- DEUTSCHE AUFTRAGSAGENTUR GMBH (o. J.): Heizungen, Wärmepumpe, Luft-Wasser, Ein intelligenter Kreislauf ermöglicht Heizen und Kühlen gleichermaßen. – www.heizungsfinder.de/waermepumpe/luft-wasser (Abruf im August 2021)
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2020): Globalstrahlung Jahresmittel, Klimaperiode 1981-2010. – Offenbach am Main. www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/lstrahlungskarten_mi.html?nn=16102 (Abruf im August 2021) und www.opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi-annual/radiation_global/ (Abruf im August 2021)
- DIN V 18599 [2018-09] "Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung". Gleichung 30.
- DIN V 4701-10, Energetische Bewertung Heiz- und Raumluftechnischer Anlagen. Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. – Ausgabe 2003-08.
- EFFIZIENZRICHTLINIE 2012/27/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG (ABl. L 315 vom 14.11.2012, S. 1) – www.eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A02012L0027-20200101 (Abruf im August 2021).
- GÖßWEIN, S.; HIENDLMEIER, S.; BORCHERT, H. (2018): Energieholzmarkt Bayern 2016. Abschlussbericht. Freising. – www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/energieholzmarkt_2018_bericht_bf.pdf (Abruf im August 2021).
- GESETZ ZUR EINSPARUNG VON ENERGIE UND ZUR NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN ZUR WÄRME- UND KÄLTEERZEUGUNG IN GEBÄUDEN (GEBÄUDEENERGIEGESETZ – GEG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 08.08.2020 (BGBl. I S. 1728). www.gesetze-im-internet.de/geg/ (Abruf im August 2021)
- HARTMANN H.; REISINGER, K.; TUROWSKI, P.; ROßMANN, P. (2013): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. 3., vollständig überarbeitete Auflage, September 2013; 192 S., Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. und Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. – www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/handbuchkleinanlagen2013-web_1.pdf (Abruf im August 2021)
- HASTREITER, H. (2018): Die Holzeinschlagserhebung 2016. LWF aktuell 1/2018, S. 57-59. – www.lwf.bayern.de/mam/cms04/forsttechnik-holz/dateien/a116_holzeinschlag.pdf (Abruf im August 2021)
- HASTREITER, H. (2013): Der Holzeinschlag 2011 in Bayern. Europäische Finanzkrise bremst den Holzeinschlag im bayerischen Privatwald. – In: LWF aktuell Nr. 92, S. 29-31. – www.lwf.bayern.de/mam/cms04/forsttechnik-holz/dateien/a92_der_holzeinschlag_2011_in_bayern_bf_gesch.pdf (Abruf im August 2021)
- HIENDLMEIER S. (2017): Betriebsdaten geförderter bayerischer Biomasse-Heizwerke. Auswertung Jahresbericht 2015. – Straubing.
- IMMITZER, M.; ATZBERGER, C.; EINZMANN, K., BÖCK, S.; MATTIUZZI, M.; WALLNER, A.; SEITZ, R.; PINNEL, N.; MÜLLER, A.; FROST, M. (2015): Fichten- und Kiefernkarte für Bayern. LWF aktuell Nr. 106, S. 30-34. – www.lwf.bayern.de/mam/cms04/informationstechnologie/dateien/fichten_und_kiefernkarte_fuer_bayern_bf_gesch.pdf (Abruf im August 2021)
- KALTSCHMITT, M.; STREICHER, W.; WIESE, A. (2014): Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. – Korrigierter Nachdruck 2014: 931 S., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- KNIGGE, W.; SCHULZ, H. (1966): Grundriss der Forstbenutzung. - Paul Parey Verlag. 584 S., Hamburg u. Berlin.
- KRAPF G. (2000): Biomasseheizwerke auf dem Prüfstand. Evaluierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen zur regenerativen Energieerzeugung auf Basis von Biomasse in Deutschland – gekürzte Fassung des Endberichts. - Straubing.
- LAUF, T., MEMMLER, M., SCHNEIDER, S. (2019): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2018. In: UMWELTBUNDESAMT: climate change 37/2019. – 152 S., Dessau-Roßlau. – www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-07_cc-37-2019_emissionsbilanz-erneuerbarer-energien_2018.pdf (Abruf im August 2021)
- LEIBNIZ-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE GEOPHYSIK (2020): Geothermisches Informationssystem Deutschland. Stand: 31.12.2019. – www.geotis.de (Abruf im August 2021)
- LEIPZIGER INSTITUT FÜR ENERGIE GMBH (IE LEIPZIG, 2020): Energiedaten.Bayern – Schätzbilanz. Daten bis zum Jahr 2019. Leipzig – www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Publikationen/2020/2020-08-31_Energiedaten_Bayern_Schaetzbilanz.pdf (Abruf im August 2021)
- MIARA, M.; GÜNTHER, D.; HELMLING, S.; LANGNER, R.; WAPLER, J. (2014): „WP Monitor“ Feldmessung von Wärmepumpenanlagen. - Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg. – www.wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-monitor-plus/german/index/ergebnisse.html (Abruf im Juli 2020)
- RÖHLING, I.; WILD, G. (2008): Biogasproduktion in Bayern 2007. – www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iba/dateien/bbd_biogasproduktion_in_bayern_2007.pdf (Abruf im August 2021)
- SCHMITZ, W.; LINCKH, V. (2012): Abwärmenutzung im Betrieb. Klima schützen – Kosten senken. – Augsburg: EU-Consult GmbH und Bayerisches Landesamt für Umwelt. – www.bestellen.bayern.de/shop-link/lfu_klima_00076.htm (Abruf im August 2021)
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN (2011): Leitfaden Energienutzungsplan, Bayerisches Staatministerium für Umwelt und Gesundheit, Herausgegeben vom Bayerischen Staatministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Oberste Baubehörde, München: 36 S.
- THÜNEN-INSTITUT (2012 a): Dritte Bundeswaldinventur (2012) – Ergebnisdatenbank. Zuwachs des Vorrates [1000 m³/a] nach Land und Baumartengruppe, Filter: Periode=2002-2012, Stand 26.08.2016. – www.bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=5.02%20Baumartengruppe&prRolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=5.02 (Abruf im August 2021)
- THÜNEN-INSTITUT (2012 b): Dritte Bundeswaldinventur (2012) – Ergebnisdatenbank. Waldfläche [ha] nach Land und Waldspezifikation, Filter: Jahr=2012, Stand 26.08.2016. – www.bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=1.01%20Waldspezifikation&prRolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=1.01 (Abruf im August 2021)
- WEIS, W.; GÖTTLEIN, A. (2012): Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung. – In: LWF aktuell Nr. 90, S. 44–47 – www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/14-naehrstoffnachhaltige-biomassenutzung-a90.pdf (Abruf im August 2021)
- ZERHUSEN, B.; SIDDIQUI, S.; EFFERNGER, M. (2015): THG-Bilanz für eine große Stichprobe von Biogas-Anlagen in Bayern. In: Statusseminar des LfL Arbeitsschwerpunktes Regenerative Energien, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). – München.

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Im Auftrag des:

Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Energie und Technologie

Bearbeitung:

LfU, Ökoenergie-Institut Bayern, Julia Koch

Projektpartner, technische Realisierung:

Bayerische Vermessungsverwaltung

Projektpartner, fachliche Expertise:

bifa – Umweltinstitut

G.A.S. – planen-bauen-forschen

Bildnachweis:

Abb. 1: LfU

Stand:

September 2021

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Energie und Technologie



**BAYERISCHE
VERMESSUNGS
VERWALTUNG**

bifa 
Umweltinstitut

G. A. S. 
SAHNER ARCHITEKTEN planen bauen forschen