Interkommunaler Energienutzungsplan und kommunale Wärmeplanung

für 17 Kommunen der LAG Begegnungsland Lech-Wertach und der ILE „Zwischen Lech und Wertach“

Auftraggeber (federführend)	**Stadt Königsbrunn**
Projekt-Nr.	**550629**
Bearbeiter	**Roland Schipf** **Michael Schönemann** **Dr. Philipp Lork** **Dr. Wolfram Dietz**

Augsburg, 27.03.2025

bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46 • 86167 Augsburg • Tel. +49 821 7000 0 • www.bifa.de

INHALTSVERZEICHNIS

1 Zielstellung 1

2 Vorgehen und Dokumentation; Bestandteile der kommunalen Wärmeplanung 2

3 Bestandsanalyse 5

3.1 Energienetze im Betrachtungsraum 5
3.1.1 Strom- und Erdgasnetz 5
3.1.2 Wärme- und Kälteinfrastruktur 6

3.2 Erneuerbare Energieerzeugung 7
3.2.1 Erneuerbare Stromerzeugung 7
3.2.2 Erneuerbare Wärmerzeugung 9

3.3 Energieverbrauchs- und Bedarfserhebungen 10
3.3.1 Stromverbrauch und regenerative Stromerzeugung 10
3.3.2 Wärmebedarf und Wärmekataster 11
3.3.3 Energiebedarf im Verkehrssektor 15

3.4 Energie- und Treibhausgasbilanz 18
3.4.1 Vorgehen 18
3.4.2 Ergebnisse 19

4 Lokale Potenziale erneuerbarer Energien und Abwärme 20

4.1 PV-Freiflächen 20

4.2 PV-Dachflächen 22

4.3 Wasserkraft 23

4.4 Windkraft 24

4.5 Biogas 27

4.6 Biomasse zur Wärmegewinnung 28
4.6.1 Waldholz 28
4.6.2 Kurzumtriebsplantagen 30
4.6.3 Reststoffe 30
4.6.4 Folgerungen zu Wärme aus Biomasse 31

4.7 Abwärme 32

4.8 Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK) 35

4.9 Oberflächennahe Geothermie 35
4.9.1 Räumliche Eingrenzung der verfügbaren Techniken 35
4.9.2 Quantitative Potenzialermittlung 36

4.10 Tiefe Geothermie 37

5 Potenziale zur Energieeinsparung 40
5.1 Stromeinsparung in privaten Haushalten 40
5.2 Wärmeeinsparung durch Sanierung 40
5.2.1 Wohngebäude 41
5.2.2 Kommunale Liegenschaften 42
5.3 Gewerbe und Industrie 43
6 Zielszenario, Entwicklungspfade und Transformationsstrategie 44
6.1 Stromsektor 44
6.1.1 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und regenerativer Stromerzeugung in Bestand und Potenzial 44
6.1.2 Folgerungen zum Ausbau 45
6.2 Wärmesektor 46
6.2.1 Gegenüberstellung von Wärmebedarf und regenerativer Wärmeerzeugung in Bestand und Potenzial 46
6.2.2 Folgerungen zum Ausbau 47
6.2.3 Verbrauchsreduzierung 47
6.3 Zielszenario und Treibhausgas-Reduktionspfad 47
6.4 Entwicklungspfade 49
6.4.1 Strom 49
6.4.2 Wärme 50
6.5 Versorgungsstruktur zur klimaneutralen Bedarfsdeckung 52
6.5.1 Wärmenetze 52
6.5.2 Entwicklung der Gasversorgung 54
6.6 Transformationsstrategie 56
7 Schwerpunktprojekte 58
7.1 PV-Freiflächenanlage Graben 58
7.2 Stromverbund 61
7.2.1 Zeitgleicher Deckungsanteil 61
7.2.2 Bündelausschreibungen zum Stromeinkauf 64
7.2.3 Modelle zur Vermarktung von eigenerzeugtem regenerativem Strom 65
7.2.4 Anwendungsfall PPA: PV-Freiflächenanlage in Graben 65
7.3 Interkommunaler Grüngut-Verbund 67
7.3.1 Analyse 67
7.3.2 Status Quo 67
7.3.3 Option einer eigenen Vergärungsanlage 67
7.3.4 Konzeption einer Grüngutbehandlung 67
7.3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 70

7.4 Tiefe Geothermie 71
7.5 Wärmeverbunde 76
7.5.1 Hurlach 78
7.5.2 Oberottmarshausen 81
7.5.3 Graben-Lagerlechfeld 83
7.5.4 Bobingen-Siedlung, Wehringen 85
7.5.5 Kleinaitingen 87
7.5.6 Fazit: Wärmeverbunde 89
8 Maßnahmen 90
8.1 Fokusgebiete einer klimafreundlichen Wärmeversorgung 91
8.2 Interkommunale Zusammenarbeit 94
8.3 Verwaltung, Klimamanagement 95
8.4 Kommunale Energieoptimierung 99
8.5 Information, Beratung 104
8.6 Ausbau erneuerbarer Energien 108
8.7 Wärmeversorgung 114
Quellenverzeichnis 125

Förderhinweis:

Gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Der interkommunale Energienutzungsplan wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie im Rahmen des Programms zur *Förderung von Energiekonzepten und kommunalen Energienutzungsplänen* über den Projektträger Bayern, Bayern Innovativ – Bayerische Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH gefördert.

1 Zielstellung

Klimaschutz ist eine dringliche und herausfordernde Aufgabe. Es gilt, die vom Menschen verursachte Erderwärmung zu begrenzen und lebenswerte Umweltbedingungen zu erhalten. Hierfür muss der Ausstoß von Treibhausgasen auf im Saldo null reduziert werden. Das Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 17.07.2024 (KSG 2024) sieht hierfür vor:

- Reduktion der THG-Emissionen (gegenüber 1990) um mind. 65 % bis 2030
- Reduktion der THG-Emissionen (gegenüber 1990) um mind. 88 % bis 2040
- Treibhausgasneutralität bis 2045

Die bayerische Staatsregierung hat am 01.01.2023 folgende Klima-Ziele im Bayerischen Klimaschutzgesetz (BayKlimaG 2023) festgeschrieben:

- Klimaneutralität Bayerns bis 2040
- Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 65 % (gegenüber 1990) bis 2030

In hohem Maße trägt das Handlungsfeld der Energienutzung und -bereitstellung zu den Treibhausgasemissionen bei. Aktuell geben internationale Abhängigkeiten, hohe Energiekosten und Fragen der Versorgungssicherheit zusätzliche Anstöße dazu, sich mit diesem Handlungsfeld auseinanderzusetzen. Notwendige Aktivitäten betreffen viele gesellschaftliche Bereiche und alle politischen Ebenen. Für die konkrete Umsetzung vor Ort kommt den Kommunen eine wesentliche Rolle zu.

Die in diesem Bericht dokumentierte Studie kombiniert einen interkommunalen Energienutzungsplan und eine kommunale Wärmeplanung. Die Studie dient als strategisches Planungsinstrument, die den Kommunen des Betrachtungsraums umfassende Orientierung zur Energiesituation bietet und die Entscheidungsträger unterstützt, zielgerichtet im Sinne des Klimaschutzes und der Energieversorgung zu wirken.

2 Vorgehen und Dokumentation; Bestandteile der kommunalen Wärmeplanung

Gesamtvorgehen
Im Rahmen einer Bestandsanalyse wurde die energetische Ist-Situation erfasst. Energie- und Treibhausgasbilanzen für die wesentlichen Sektoren wurden erstellt und nach Energieträgern aufgeschlüsselt. Die Potenziale zu Energieeinsparung, zu Energieeffizienz und für erneuerbare Energien wurden ausgewertet. Ein Transformationspfad für die Strom- und Wärmeversorgung und die Wärmewendestrategie wurde entwickelt. Darauf basierend wurden in Abstimmung mit den Kommunalverantwortlichen geeignete Maßnahmen identifiziert und Projektansätze konkretisiert.

Akteursbeteiligung
Lokale Akteure im Energie- und Klimaschutzbereich wurden in den Entwicklungsprozess einbezogen. In einem moderierten Workshop wurden mit ihnen und den Bürgermeistern Lösungsansätze für die Energiezukunft erarbeitet. Darauf aufbauend erarbeitete bifa Maßnahmenentwürfe, die in einem zweiten Workshop mit den Bürgermeistern konkretisiert und priorisiert wurden. Abbildung 2.1 zeigt Eindrücke aus dem Workshop zur Maßnahmenentwicklung.



Abbildung 2.1: Eindrücke aus dem Workshop zur Konkretisierung der Maßnahmen am 16.07.2024

Projektzeit und Datenstand
Der Energienutzungsplan und die kommunale Wärmeplanung wurden von Oktober 2023 bis Januar 2025 erstellt. Als Referenzjahr der Datenerhebung wurde das Jahr 2022 festgelegt. Die Potenzialanalyse erfolgte nach Rechtsstand 2022. Der Bestand an Erneuerbare-Energie-Anlagen wurde bis 2023 aktualisiert. Wirtschaftlichkeitsberechnungen fußen auf Kostenansätzen für das Jahr 2024.

Betrachtungsraum
Untersucht wurden die in Tabelle 2.1 aufgeführten 17 Gemeinden im Lech-Wertach-Tal. Der Betrachtungsraum ist in Abbildung *2.2* kartografisch dargestellt.

Tabelle 2.1: Gemeinden im Betrachtungsraum nach Planungsregionen und Landkreisen, aufgezählt von Nord nach Süd und West nach Ost

Regionaler Planungsverband	Landkreis	Gemeinden
Augsburg	Augsburg	Bobingen, Königsbrunn, Wehringen, Oberottmarshausen, Großaitingen, Kleinaitingen, Schwabmünchen, Graben, Hiltenfingen, Langerringen, Untermeitingen, Klosterlechfeld
München	Landsberg am Lech	Obermeitingen, Hurlach, Igling
Donau-Iller	Unterallgäu	Amberg
Allgäu	Ostallgäu	Lamerdingen

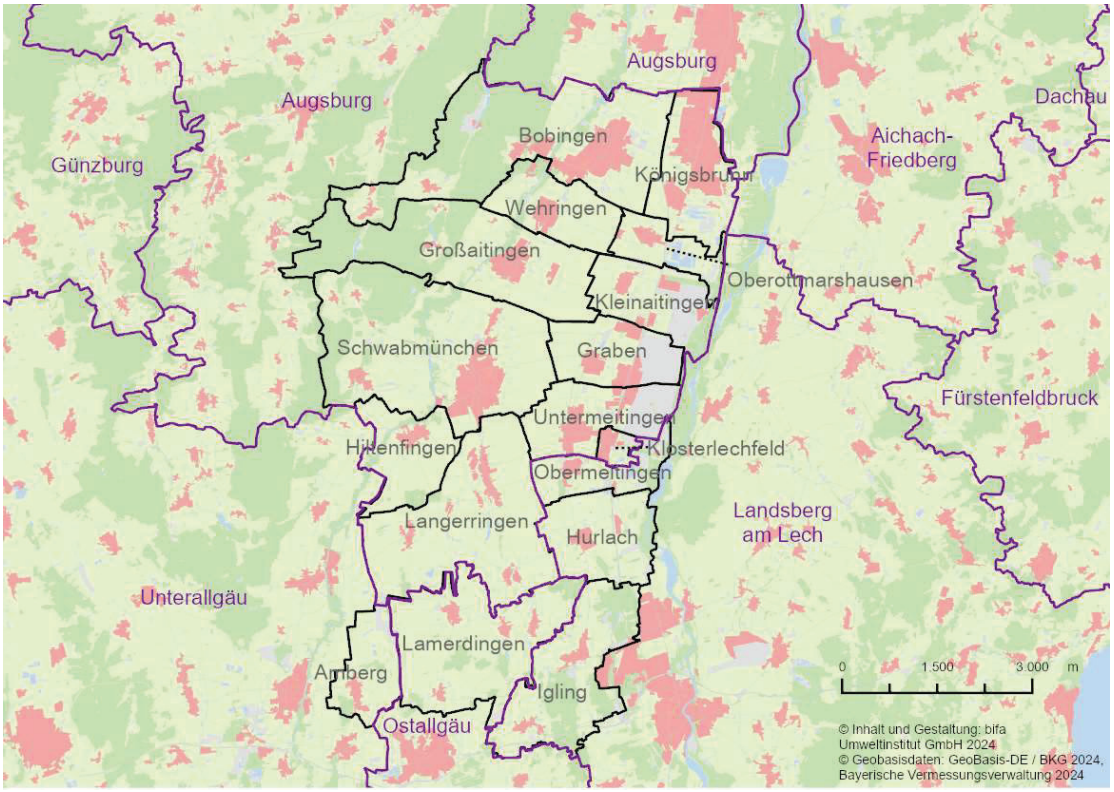


Abbildung 2.2: Kommunen im Lech-Wertach-Tal westlich des Lechs. Gemeinden schwarz, Landkreise magentafarben gekennzeichnet

Aufbau der Dokumentation

Dieser Bericht umfasst die Hintergründe der Studie, die methodischen Herangehensweisen, die ausgearbeiteten Ergebnisse für den Betrachtungsraum, die bearbeiteten Schwerpunktprojekte und die Maßnahmenvorschläge. Zusätzliche Ergebnisdarstellungen auf Gemeindeebene sind in einem separaten Dokument enthalten.

Die erstellten Karten werden im pdf-Format sowie als GIS-Dateien zur Verfügung gestellt.

Bestandteile der kommunalen Wärmeplanung

Die Kommunen werden über das Wärmeplanungsgesetz (WPG), das am 01.01.2024 in Kraft trat, verpflichtet, kommunale Wärmepläne zu erstellen. Wurde die Erstellung eines kommunalen Wärmeplans vor diesem Datum entschieden – wie in vorliegendem Fall –, entfällt nach § 5 WPG die Pflicht zur Wärmeplanung gemäß WPG, wenn der kommunale Wärmeplan mit den Anforderungen des WPG im Wesentlichen vergleichbar ist.

Dies gilt für die vorliegende Studie, da die inhaltlichen Anforderungen an einen kommunalen Wärmeplan gemäß Kommunalrichtlinie erfüllt sind (Absatz 4.1.11 der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“ vom 22. November 2021 mit Änderung vom 18. Oktober 2022 in Verbindung mit Nr. 1.11 des Technischen Annexes dieser Richtlinie).

In Tabelle 2.2 ist zusammengestellt, an welchen Stellen im Bericht die nach Kommunalrichtlinie geforderten Bestandteile einer kommunalen Wärmeplanung dokumentiert sind.

Tabelle 2.2: Anforderungen an eine kommunale Wärmeplanung nach Kommunalrichtlinie und zugehörige Abschnitte in vorliegendem Bericht

Anforderung nach Kommunalrichtlinie	**Abschnitt**
Bestandsanalyse sowie Energie- und Treibhausgasbilanz	Bestandsanalyse: Kapitel 3 Energie- und Treibhausgasbilanz: Abschnitt 3.4
Gebäude- und Siedlungstypen unter anderem nach Baualtersklassen	Abschnitt 3.3.2
Energieverbrauchs- oder -bedarfserhebungen	Abschnitt 3.3
Beheizungsstruktur der Wohn- und Nichtwohngebäude	Abschnitt 3.3.2
Wärme- und Kälteinfrastruktur (Gas- und Wärmenetze, Heizzentralen, Speicher)	Abschnitte 3.1.1 und 3.1.2
Potenzialanalyse zur Ermittlung von Energieeinsparpotenzialen und lokalen potenzialen erneuerbarer Energien	-
Potenziale zur Energieeinsparung für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme	Kapitel 5
Lokale Potenziale erneuerbarer Energien und Abwärmepotenziale	Kapitel 4
Zielszenarien und Entwicklungspfade	Abschnitt 6.3
Entwicklung einer Strategie und eines Maßnahmenkatalogs	Strategie: Abschnitt 6.6 Maßnahmenkatalog: Abschnitte 8.3 bis 8.7
Identifikation von zwei bis drei Fokusgebieten	Abschnitt 8.1
Beteiligung sämtlicher betroffener Verwaltungseinheiten und aller weiteren relevanten Akteure	Abschnitt 2 „Akteursbeteiligung“
Verstetigungsstrategie inklusive Organisationsstrukturen und Verantwortlichkeiten/Zuständigkeiten	Abschnitt 6.6 Abschnitt 8.3, Maßnahme V2
Controlling-Konzept	Abschnitt 8.3
Kommunikationsstrategie	Abschnitt 8.5

3 Bestandsanalyse

In einer umfassenden Bestandsaufnahme wurden Daten zum Strom- und Wärmbedarf im gesamten Betrachtungsgebiet aufgenommen. Hierzu wurden Verbrauchswerte nach unterschiedlichen Verbrauchsprofilen beim Niederspannungsnetzbetreiber erfragt und ausgewertet. Hinzu kamen Daten zu den Stromverbräuchen der Landkreis- und kommunalen Liegenschaften.

Energieerzeugungsanlagen im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) wie Biogasanlagen, Photovoltaik(PV)-Freiflächen- und -Dachanlagen, Wasserkraftanlagen und Windkraftanlagen wurden der Datenbank des Energie-Atlas Bayern (LfU, 2023) entnommen und mit den Angaben der Niederspannungsnetzbetreiber plausibilisiert.

Leitungsgebundene Energieverbräuche zur Wärmeerzeugung wurden vom Gasnetzbetreiber zur Verfügung gestellt. Die Energieverbräuche der kommunalen Liegenschaften wurden von den Gemeinden zusammengestellt.

Die Daten zu den Energieerzeugungsanlagen und den Energieverbrauchern wurden mit Koordinaten hinterlegt und in einem Geoinformationssystem räumlich verortet. Dies ist die Basis für die vorgelegten thematischen Karten und erlaubt eine räumlich bezogene Maßnahmenidentifizierung. Die eingesetzte Methodik der Datenerfassung lässt eine Aktualisierung und Pflege der Datensätze zu.

3.1 Energienetze im Betrachtungsraum

3.1.1 Strom- und Erdgasnetz

Netzbetreiber des Erdgasnetzes im Betrachtungsraum ist die Schwaben Netz GmbH. Netzbetreiber des Stromnetzes ist die LEW Verteilnetz GmbH.

Im Betrachtungsraum besteht in einem Großteil der Kommunen eine flächendeckende Erdgasversorgung. Lediglich die westlichen Ortsteile in den Kommunen Bobingen, Großaitingen, Schwabmünchen und Langerringen sowie die Kommunen Lamerdingen und Igling sind nicht oder nicht flächendeckend mit Erdgas versorgt (siehe Abbildung 3.1).

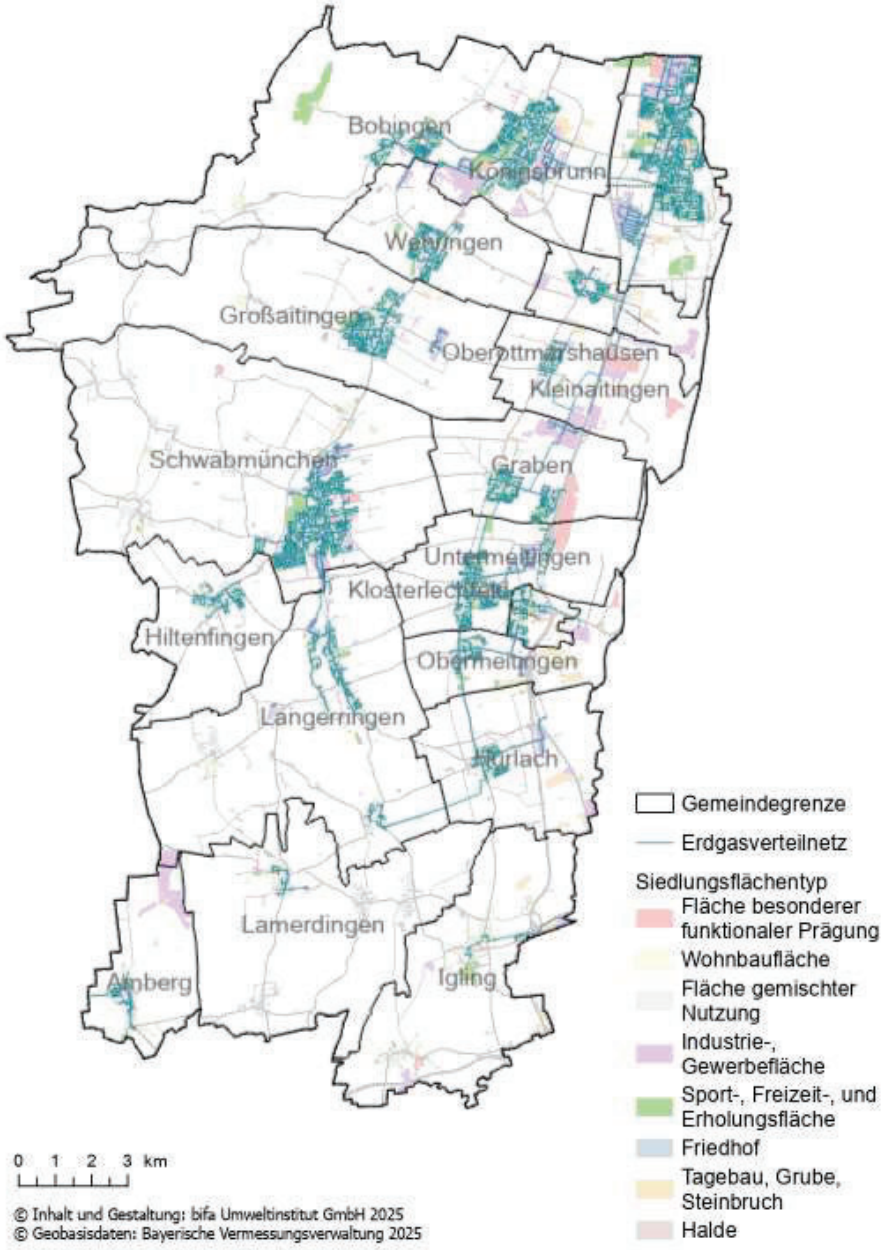


Abbildung 3.1 Ausdehnung des Erdgasnetzes und Siedlungsflächentypen

3.1.2 Wärme- und Kälteinfrastruktur

In sechs Kommunen im Betrachtungsraum werden Wärmenetze betrieben. In 7 von 10 Wärmenetzen wird die Grundlast aus Abwärme von Biogasanlagen bereitgestellt. Tabelle 3.1 beschreibt die identifizierten Wärmenetze. Kältenetze wurden im Betrachtungsraum nicht identifiziert.

Tabelle 3.1: Bestehende Wärmenetze

Kommune	Beschreibung des Wärmenetzes
Hurlach	Wärmequelle: Biogasanlage Abnehmer: kommunale Gebäude, 40 Wohngebäude
Igling	Wärmequelle: Biogasanlage, Holzhackschnitzel, Erdgas Abnehmer: Schule, KiTa, Feuerwehrhaus, Gemeindeverwaltung, 60 Wohngebäude
	Wärmequelle: Holzhackschnitzel Abnehmer: ca. 35 Wohngebäude
Bobingen	Wärmequelle: Biogasanlage, Holzhackschnitzel Abnehmer: Gärtnerei, Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 30 Wohneinheiten, 12 Wohngebäude, Neubaugebiet mit 20 Einfamilienhäusern Konkrete Ausbauplanung in den nächsten 3 Jahren: ca. 4.500 MWh/a Neubaugebiet Point V, Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 48 Wohneinheiten, 50 Bestandsgebäude
Hiltenfingen	Wärmequelle: Biogasanlage Abnehmer: 24 Wohngebäude
	Wärmequelle: Biogasanlage, Holzhackschnitzel Konkrete Ausbauplanung: Inbetriebnahme des Netzes 2025 geplant, mit Abnehmer Schule, Rathaus, 95 Wohngebäude
Königsbrunn	Wärmequelle: 2 MW_{th} Wärmepumpen, 277 kW_{th} Erdgas-BHKW, 7,6 MW_{th} Erdgaskessel Abnehmer: Gymnasium, Jugendzentrum, Infopavillon, 600 Haushalte
	Wärmequelle: 15 kW_{th} Biomethan-BHKW, 130 kW_{th} Erdgaskessel Abnehmer: Büro, Sozialgebäude, Wohnheim
Schwabmünchen	Wärmequelle: k.A. Abnehmer: städtische Liegenschaften
	Wärmequelle: Abwärme eines Industriebetriebs Abnehmer: Über 80 Ein- und Mehrfamilienhäuser im Neubaugebiet Südwest III
Lamerdingen OT Kleinkitzighofen	Wärmequelle: Biogasanlage Abnehmer: Alte Schule, Bürgerhaus, 30 Wohngebäude
Lamerdingen OT Dillishausen	Wärmequelle: Biogasanlage Abnehmer: Wohngebäude, Netzerweiterung in Prüfung

3.2 Erneuerbare Energieerzeugung

3.2.1 Erneuerbare Stromerzeugung

Informationen zu regenerativen Stromerzeugungsanlagen wurden dem Energie-Atlas Bayern entnommen. Die georeferenzierten Standortangaben beschränken sich auf die Anlagen, die bis zum 21.12.2023 im Energie-Atlas Bayern aufgenommen wurden.

Für alle Energiequellen bis auf Wasserkraft wurden die Stromerträge der Anlagen (Betriebsjahr 2021) und die installierten Leistungen gemäß Energie-Atlas Bayern ausgewertet. Anzahl, Leistung und Stromertrag von Wasserkraftanlagen wurden aus den Daten der Netzbetreiber gewonnen. Eine Übersicht für den Betrachtungsraum zeigt Abbildung *3.2*.

In der Gemeinde Graben steht außerdem eine Biogasanlage, in der das produzierte Biogas aufbereitet und als Biomethan in das Erdgasnetz eingespeist wird. In die Erhebung der erneuerbaren Strom- und Wärmeerzeugung in diesem Abschnitt und im nachfolgenden Abschnitt 3.2.2 gehen die erzeugten Bioerdgasmengen nicht ein.
Mit einer Leistung von 5,9 MW und bei einer hochgerechneten Energiebereitstellung in Höhe von 47.000 MWh/a (Annahme 8.000 Vollbenutzungsstunden), leistet die Anlage einen nennenswerten Beitrag zur regenerativen Energieversorgung in der Region.

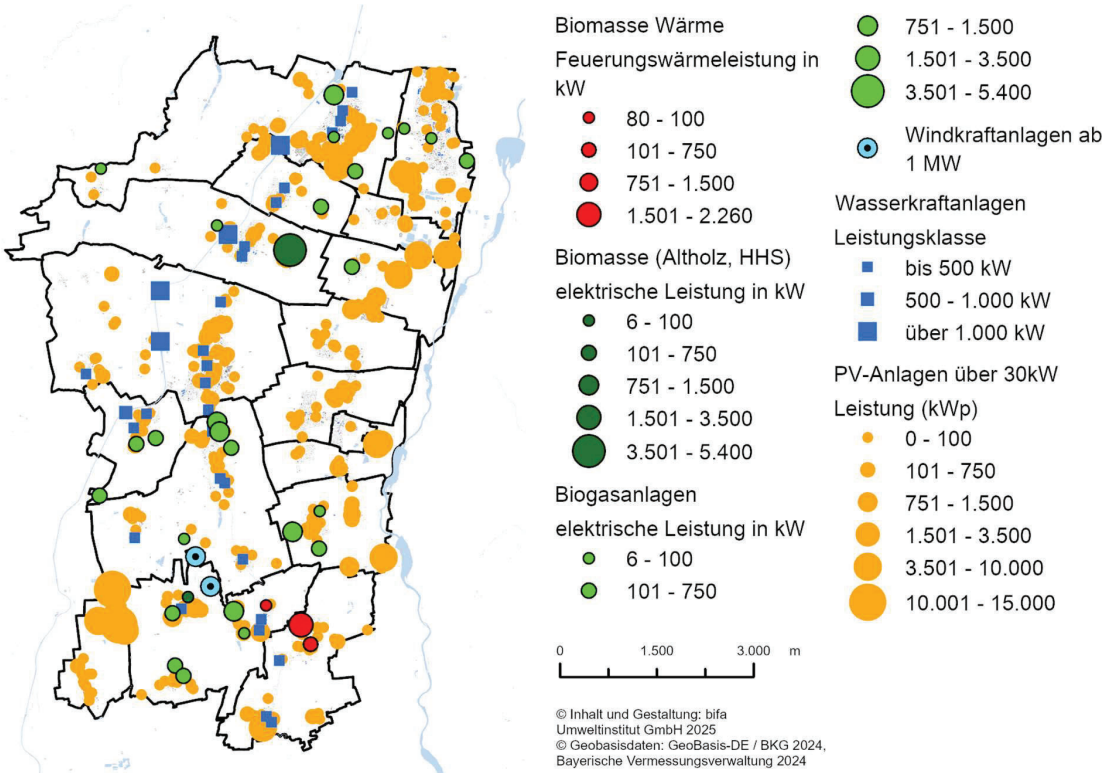


Abbildung 3.2: Installierte Leistung und Lage von Bestandsanlagen zur regenerativen Stromerzeugung

Den mit Abstand höchsten Leistungsbeitrag zu erneuerbaren Energien haben die PV-Stromerzeugungsanlagen (Tabelle 3.2). Aufgrund ihrer hohen Vollbenutzungsstundenzahl liefern auch Wasserkraft- und Biogasanlagen merkliche Strombeiträge. In Summe liegt die regenerative Stromerzeugung 2022 bei 372.650 MWh. Der jahresbilanzielle Anteil der regenerativen Stromerzeugung gegenüber dem Stromverbrauch von 2022 liegt bei 79 %.

Tabelle 3.2: Bestand an regenerativen Stromerzeugungsanlagen im Betrachtungsraum (Stand 2023) nach Angaben des Energieatlas Bayern (LfU 2023)

Kennwert	Einheit	Solar (PV)	Biomasse	Wasser	Wind
Anlagen	Anzahl	8.051	30	32	3
Leistung	kW	250.793	16.062	11.908	4.801
Strom (2021) und Hochrechnung	MWh/a	222.341	88.163	50.698	11.447
Jahresbilanzieller Anteil am Stromverbrauch		47,2 %	18,7 %	10,8 %	2,4 %

Für Anlagen, die bis 2021 in Betrieb gingen, wurden die im Energie-Atlas Bayern für 2021 angegebenen eingespeisten Strommengen berücksichtigt. Für Anlagen ab 2022 wurden die zu erwartenden Strommengen anhand durchschnittlicher Vollbenutzungsstunden hochgerechnet. Abbildung 3.3 zeigt die Entwicklung des Ausbaus von PV-Anlagen im Betrachtungsgebiet von 1996 bis 2022.

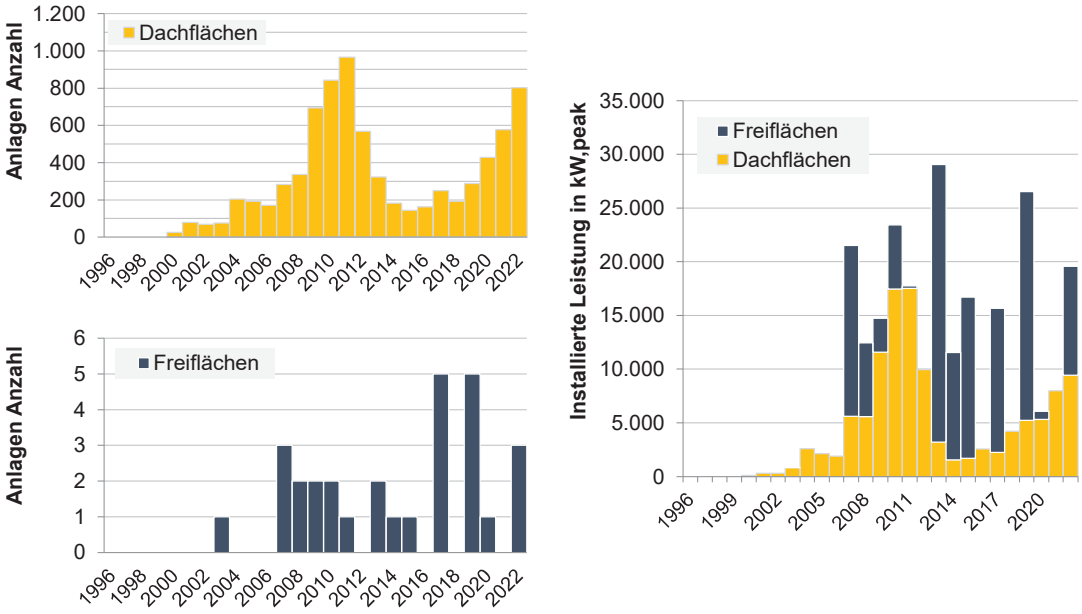


Abbildung 3.3: Jährlicher Anlagen- und Leistungszubau von PV-Anlagen im Betrachtungsgebiet nach Daten aus dem Energie-Atlas Bayern (LfU 2023).
Links oben: Zuwachs Anlagenzahl PV-Dachanlagen
Links unten: Zuwachs Anlagenzahl PV-Freiflächenanlagen
Rechts: Leistungszuwachs, Freiflächen und Dachflächen gestapelt.

3.2.2 Erneuerbare Wärmerzeugung

Die aus regenerativen Quellen erzeugten Wärmemengen lassen sich nicht direkt statistisch erheben; sie werden stattdessen anhand verfügbarer Stützdaten hochgerechnet. Die Hochrechnung basiert dabei auf den folgenden Quellen und Annahmen:

- Solarthermie: hauptsächlich Flachkollektoren, Baujahr 2000-2019, aus Daten des BAFA zu geförderten Anlagen. Annahme aus dem Abgleich geförderter BAFA-Anlagen mit den Angaben zu insgesamt installierten Anlagen in Bayern: BAFA-Werte repräsentieren 50 % des tatsächlichen Bestands.
- Biomasse-Pellet: hauptsächlich Pellet- und Holzhackschnitzelheizungen, Baujahr 2000-2019, aus Daten des BAFA zu geförderten Anlagen in Bayern. Annahme aus dem Abgleich geförderter BAFA-Anlagen mit den Angaben zu insgesamt installierten Anlagen in Bayern: BAFA-Werte repräsentieren 60 % der tatsächlich vorhandenen Anlagen.
- Biomasse-Scheitholz. Annahme: 70 % aller Ein- bis Zweifamilienhäuser und 8,6 % der Mehrfamilienhäuser benutzen Kleinfeuerungsanlagen. Annahme einer durchschnittlichen Wärmebereitstellung von 2.419 kWh/a nach Borchert (LfU, 2021a)
- Wärmepumpen und Stromheizungen: Hochrechnung aus Strommengen für Wärmepumpen und Stromheizungen nach Angabe der Stromnetzbetreiber. Annahme einer durchschnittlichen Arbeitszahl von 3,5 für Wärmepumpen

Die Ergebnisse der Hochrechnung für den Betrachtungsraum sind in Tabelle 3.3 zusammengeführt. Rund 13 % des jährlichen Wärmebedarfs wurden danach im Bilanzzeitraum regenerativ erzeugt.

Tabelle 3.3: Bestand an regenerativen Wärmeerzeugungsanlagen im Betrachtungsraum. Eigene Hochrechnung basierend auf Daten der Stromnetzbetreiber (Stand 2022), von BAFA (Stand 2020), des Energie-Atlas Bayern (Stand 2023) und über Literaturwerte

Kennwert	**Einheit**	**Solar-thermie**	**Biomasse (Pellets, Scheit-holz, Holzhack-schnitzel)**	**Biogas-BHKW**	**Scheitholz, Kleinfeue-rung**	**Wärmepumpe (Erdkollektor, Erdsonde, Luft)**
Anlagen	Anzahl	5.988	1.293	30	18.299	3.739
Leistung	kW	-	28.205	16.062	-	44.864
Fläche	m²	59.272	-	-	-	377.468 *
Wärme	MWh/a	23.709	47.948	28.359	44.265	36.187
Jahresbilanzieller Anteil am Wärme-verbrauch	-	2 %	3 %	2 %	3 %	3 %

* Erdkollektoren

3.3 Energieverbrauchs- und Bedarfserhebungen

3.3.1 Stromverbrauch und regenerative Stromerzeugung

In Abbildung 3.4 sind der Stromverbrauch in Höhe von 473.150 MWh/a und die Erzeugung von regenerativem Strom (s. Abschnitt 3.2.1) gegenübergestellt. Das Verhältnis von lokaler regenerativer Stromerzeugung zu Stromverbrauch liegt im Betrachtungsraum bei 79 %.

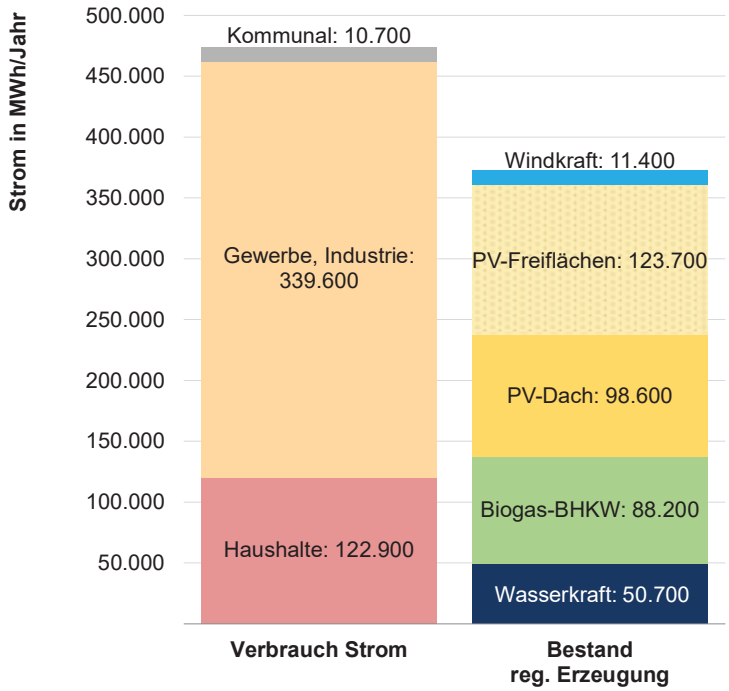


Abbildung 3.4: Stromverbrauch (Stromnetzbezug) und regenerative Stromerzeugung im Bestand (Stand 2022)

3.3.2 Wärmebedarf und Wärmekataster

Der Wärmebedarf für private Haushalte macht mit 861.000 MWh/a den größten Anteil am Gesamtwärmebedarf aus. Der Bedarf für Heizen, Warmwasser und Prozesswärme in Gewerbe und Industrie beträgt rund 511.000 MWh/a, der Wärmebedarf der kommunalen Liegenschaften (inkl. Landkreisliegenschaften) knapp 32.000 MWh/a. Abbildung 3.5 gibt die prozentuale Verteilung wieder.

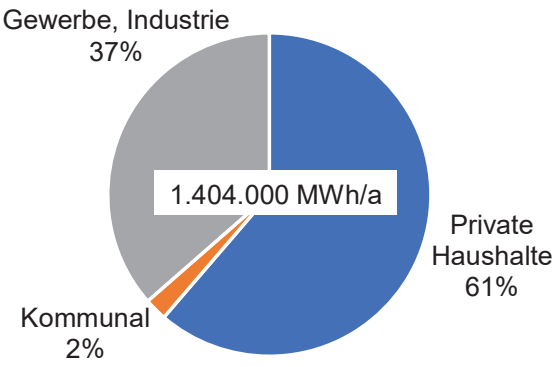


Abbildung 3.5: Wärmebedarf, aufgeteilt nach Sektoren (Stand 2022)

Wohnen und energetisch gleichgestellte Nutzungen – Wärmekataster

Das flächendeckende Wärmekataster wurde durch Geoinformationsverarbeitung (GIS) ermittelt. Dabei wurden die Daten in fortschreibbarer Form in einer GIS-basierten Datenbasis hinterlegt. Für die Entwicklung des Wärmekatasters wurden für den Betrachtungsraum LoD2-

Daten vom Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung genutzt. Zur Schärfung der berechneten Wärmebedarfswerte gingen zudem Daten zur Bebauungsentwicklung von Siedlungsquartieren ein. In der entstandenen Gebäudedatenbank sind insbesondere Daten zu Gebäudetypologie, Baualtersklassen und Siedlungsflächen hinterlegt.

Die Informationen aus dem Wohnungsbestand wurden mit den Ergebnissen der Befragung zu den Liegenschaften überlagert. Somit ergibt sich ein flächendeckendes Bild der Wärme-Infrastruktur und ihrer räumlichen Verteilung.

Einen Ausschnitt aus dem Wärmekataster zeigt Abbildung *3.6* beispielhaft für das Gemeindegebiet Klosterlechfeld.

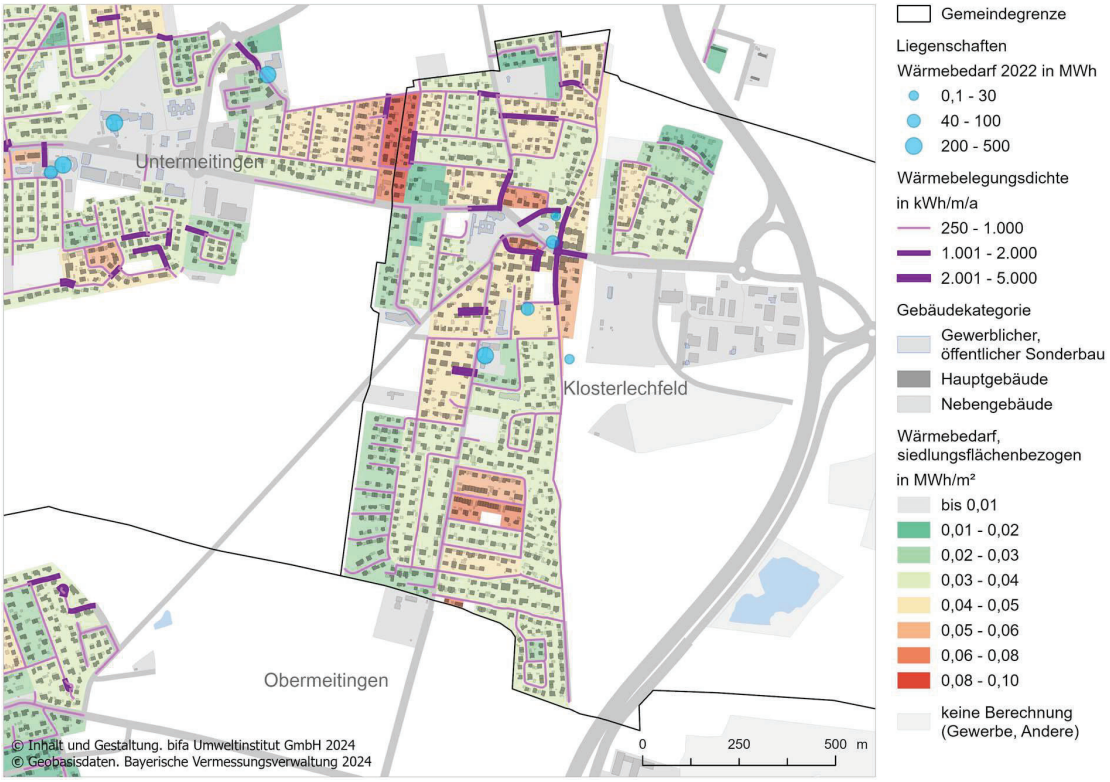


Abbildung 3.6*: Wärmekataster – Detailansicht Gemeindegebiet Klosterlechfeld mit Wärmebedarf der Liegenschaften (blaue Kreise, nach Größe unterschieden), Wohnwärmebedarf in Siedlungsflächen (grau=keine Angabe; von grün=niedrig bis rot=hoch) und Wärmebelegungsdichte in Straßen (violette Linien, nach Strichstärke unterschieden).*

Für Wohngebäude und Gebäude mit gemischter Nutzung – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sowie Wohnen – wurden Bedarfe unter Berücksichtigung der Baualter gebäudescharf berechnet. Für die Wärmebedarfsanalysen wurden die Gebäude nach ihrer Nutzungsart typologisiert. Ungeheizte Nebengebäude und Gebäude besonderer Funktion wurden dabei identifiziert. Der Wärmebedarf aller Wohngebäude wurde unter Berücksichtigung vorliegender Charakteristika berechnet (z. B. Gebäudetypen, Baukörpervolumen, Vollgeschosszahl, Nutzungsgrad, vorliegende Baualter). Zur Ermittlung ortsbezogener Kennzahlen und für die Verifizierung von Analyseergebnissen wurden Daten des Statistischen Bundesamtes und des Bayerischen Landesamtes für Statistik herangezogen. Die Baualtersverteilung der Wohngebäude im Betrachtungsraum nach ZENSUS (2011) zeigt Abbildung 3.7.

Darauf fußend wurde der Wärmebedarf in Siedlungsflächen und die Wärmebelegungsdichte ermittelt.

Das Wärmekataster ist Ausgangspunkt für die Entwicklung von Wärmeverbundprojekten. Die Übersicht zu Wohnwärmebedarf in Siedlungsflächen zusammen mit der Lage und Konzentration von Liegenschaften weist auf mögliche Keimzellen für Wärmeverbundlösungen und geeignete Areale für umfassendere Fernwärmelösungen hin. Die Wärmebelegungsdichte ist ein Kennwert zur Identifizierung und Prüfung möglicher Fernwärmeversorgungen für Bestandsgebäude. An diese erste Prüfung kann sich eine detaillierte Betrachtung identifizierter Gebiete anschließen.

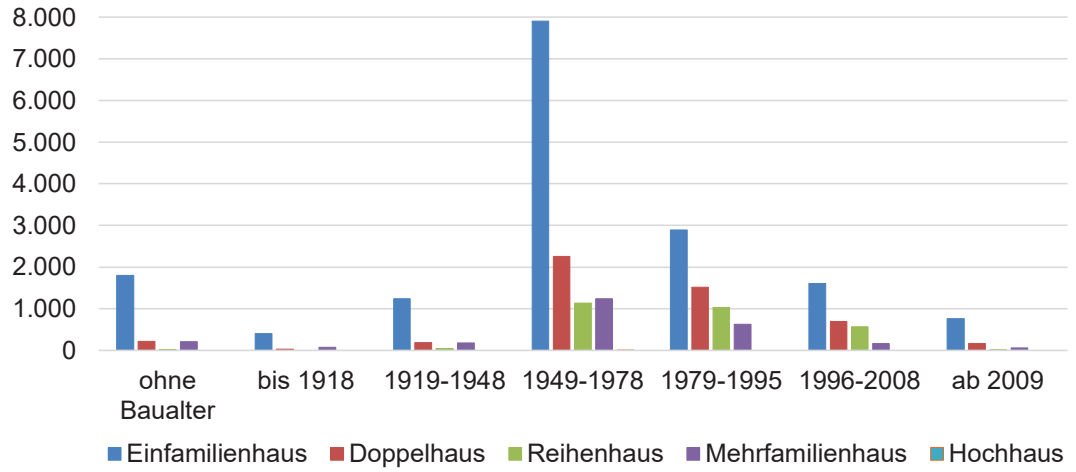


Abbildung 3.7: Baualtersverteilung der Wohngebäude im Betrachtungsraum nach ZENSUS (2011)

Im Mittel liegt der flächenbezogene Heizwärmebedarf der Wohngebäude mit 139 kWh/m²/a unter dem Wärmebedarf je m² beheizter Wohnfläche im Bundesdurchschnitt von 155 kWh/m²/a (dena, 2024).

Beheizungsstruktur der Wohngebäude und wohnähnlicher Gebäude

Über das Wärmekataster wird der Wärmebedarf für Wohngebäude in Summe ermittelt. Aus den Energiebilanzen zur leitungsgebundenen Energieversorgung und aus Hochrechnungen über Anlagendaten von regenerativen Energieerzeugern (siehe Abschnitt 3.2) liegen alle Energieverbräuche bis auf den von Heizöl vor. Aus der Differenz zwischen dem summarischen Wärmebedarf nach Wärmekataster und den gebildeten Werten wird auf den Bedarf an Heizöl geschlossen. Der so abgeschätzte Wert für den Bedarf an Heizöl ist orientierend.

Kaminkehrerdaten wurden bei der bayerischen Landesinnung im März 2024 angefragt. Mit Verweis auf zu diesem Zeitpunkt bereits geplante Zusammenstellungen des Landesamtes für Statistik wurden keine Daten bereitgestellt.

Der Wärmebedarf für Wohngebäude liegt bei 861.000 MWh pro Jahr. Die Energieträgerverteilung je Kommune ist in Abbildung 3.8 aufgegliedert.

Der in Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen eingesetzte Netzstrom wird für das Jahr 2022 mit einem erneuerbaren Anteil von 46,3 % berücksichtigt (Destatis, 2024). Aus dem Um-

weltwärmeanteil beim Einsatz von Wärmepumpen und dem regenerativen Anteil des Netzstroms ergibt sich ein regenerativer Anteil von Wärme aus Strom am Gesamtwärmebedarf von 4 %.

Der Anteil erneuerbarer Wärme und Fernwärme an der Wohnwärmebereitstellung liegt im Betrachtungsraum im Jahr 2022 summarisch bei 19 %. Über die Hälfte dieser Wärmemenge wird mit Holzheizungen erzeugt.

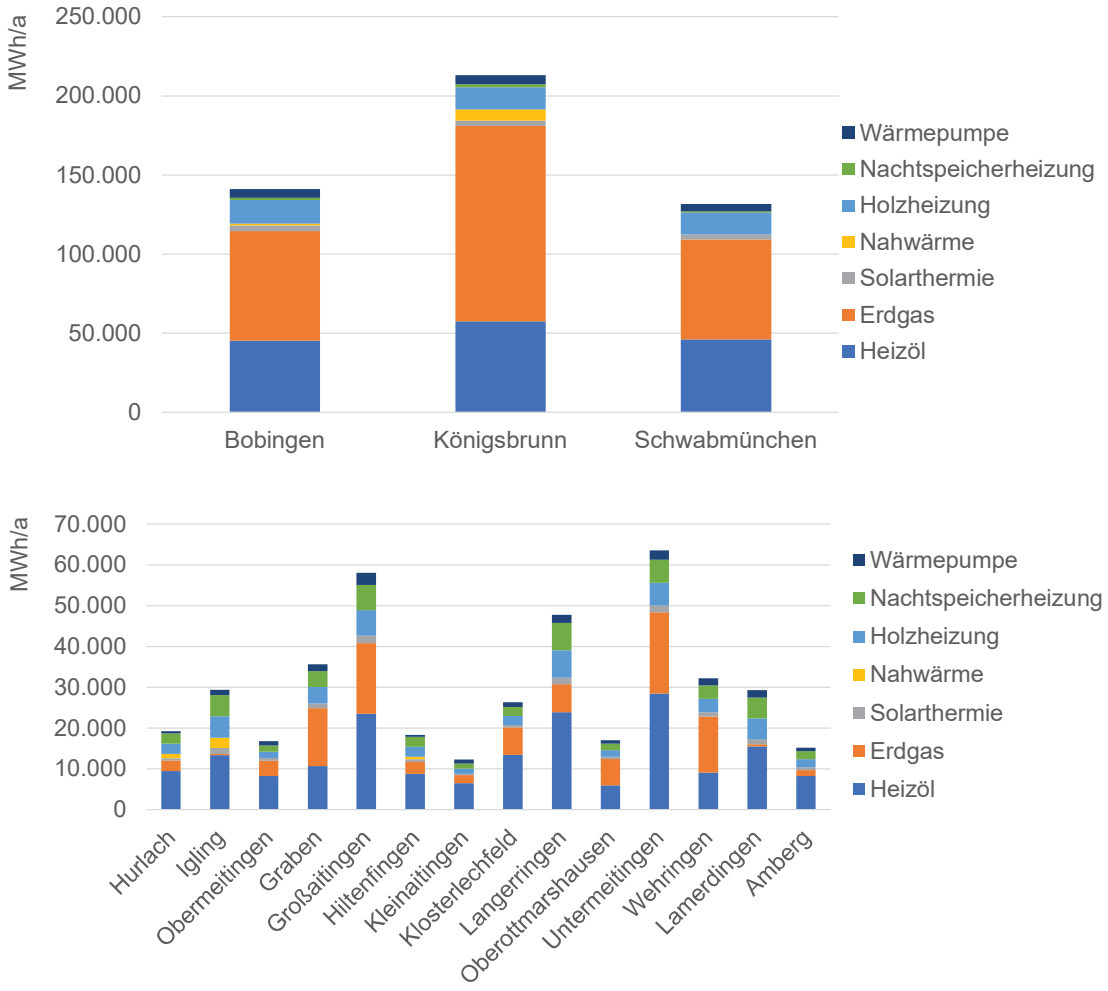


Abbildung 3.8: Wohnwärmebereitstellung je Kommune, aufgeteilt nach Energieträgern (Stand 2022). Oberes Diagramm mit höheren y-Achsenwerten für die größeren Kommunen.

Gewerbe und Industrie

Der Bedarf an Wärme für Industrie und Gewerbe wurde wie folgt ermittelt: Die Erdgasverbräuche im Betrachtungsraum sind über die Energienetzbetreiber bekannt. Die Jahresmengen für Heizöl und sonstige Energieträger wurden der Landkreisstatistik von 2022 entnommen (LfStat, 2023). Gemeindebezogene Werte liegen in der Statistik nicht vor; diese wurden durch Aufteilung der Landkreiswerte über die Anzahl der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten am Arbeitsort abgeschätzt.

Aus der Hochrechnung ergibt sich die in Abbildung 3.9 gezeigt Energieträgerverteilung für die Wärmebereitstellung in Gewerbe und Industrie.

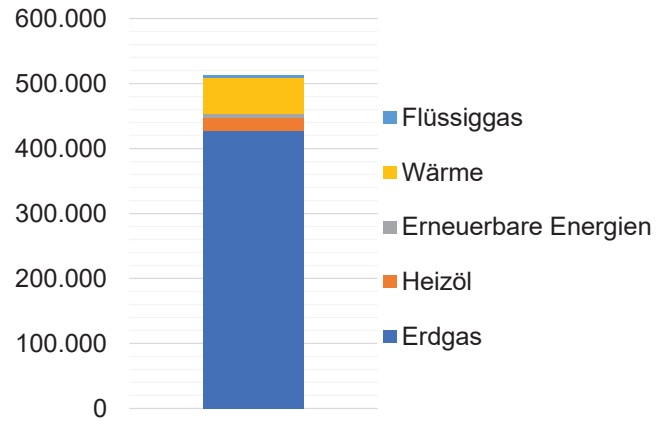


Abbildung 3.9: Energieträgerverteilung für die Wärmebereitstellung in Gewerbe und Industrie

3.3.3 Energiebedarf im Verkehrssektor

Der Energiebedarf im Verkehrssektor gliedert sich in Individualverkehr und Schwerlastverkehr.

Die statistische Berechnung für den Individualverkehr basiert auf Zahlen aus der Studie „Mobilität in Deutschland – MiD“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI, 2019). Die Studie enthält Tagesstrecken unterteilt nach Verkehrsmitteln für unterschiedliche Raumtypen. Sieben Raumtypen werden unterschieden, von kleinstädtisch-dörflichem Raum bis zur Metropole. Betrachtete Verkehrsmittel sind zu Fuß, Fahrrad, Fahrer im motorisierten Individualverkehr, Mitfahrer im motorisierten Individualverkehr und öffentliche Verkehrsmittel.

Der Energiebedarf für den Schwerlastverkehr und für Nutzfahrzeuge kann auf Grundlage der Daten des Kraftfahrt-Bundesamtes zum Fahrzeugbestand quantifiziert werden. In die statistische Berechnung gehen dabei die Anzahl der Lastkraftwagen und Zugmaschinen (KBA, 2023) sowie die durchschnittliche Jahresfahrleistung des Jahres 2019 von Lastkraftwagen bis 7,5 t zulässiger Gesamtmasse und Sattelzugmaschinen ein (KBA, 2022).

Der Mobilitätssektor wird in der Energie- und Treibhausgasbilanz berücksichtigt. Potenziale und die Entwicklung geeigneter Optimierungsmaßnahmen sind nicht Gegenstand des Energienutzungsplans. Vor dem Hintergrund des hohen CO_2-Emissionsanteils (s. Folgekapitel) werden vertiefende Betrachtungen empfohlen. Für eine gezielte kommunale Einflussnahme auf den Verkehrssektor sollten Analysen der Verkehrsmittel- und Verkehrswegenutzung und darauf basierende Mobilitätskonzepte erarbeitet werden.

Für die Berechnung des Individualverkehrs wurden die Kommunen im Landkreis den in Tabelle 3.4 aufgeführten Raumtypen zugeordnet. Die durchschnittlich zurückgelegte Tagesstrecke nach Verkehrsmittel und Raumtyp zeigt Abbildung 3.10.

Anhand der zurückgelegten Tagesstrecke je Verkehrsmittel und Raumtyp sowie spezifischer Kennwerte für Energiebedarf und Treibhausgasemissionen lassen sich die jährlichen Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen pro Person berechnen. Die angesetzten Kennwerte sind in Tabelle 3.5 dargestellt. Die daraus berechneten jährlichen Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen je Person im Individualverkehr sind in Tabelle 3.6 abgebildet.

Der Energiebedarf und die daraus resultierenden CO_2-Emissionen des Individualverkehrs für die 102.925 Einwohner im Betrachtungsraum lassen sich zu 777.000 MWh/a beziffern, entsprechend 232.000 t CO_{2eq}/a. Die Ergebnisse für den Schwerlastverkehr und Nutzfahrzeuge

listet Tabelle 3.7 auf. Den Anteil der Treibhausgasemissionen nach Fahrzeugklasse zeigt Abbildung 3.11.

Tabelle 3.4: Zugeordnete Raumtypen für die Berechnung des Energiebedarfs des Individualverkehrs

Nr.	Raumtyp (nach BMVI, 2019)	Zugeordnete Kommunen
S2	Regiopolitane Stadtregion: Mittelstadt	Bobingen Graben Großaitingen Kleinaitingen Königsbrunn Oberottmarshausen Schwabmünchen Wehringen
L2	Stadtregionsnahe ländliche Region: städtischer Raum	Klosterlechfeld Untermeitingen
L3	Stadtregionsnahe ländliche Region: kleinstädtischer, dörflicher Raum	Amberg Hiltenfingen Hurlach Igling Lamerdingen Langerringen Obermeitingen

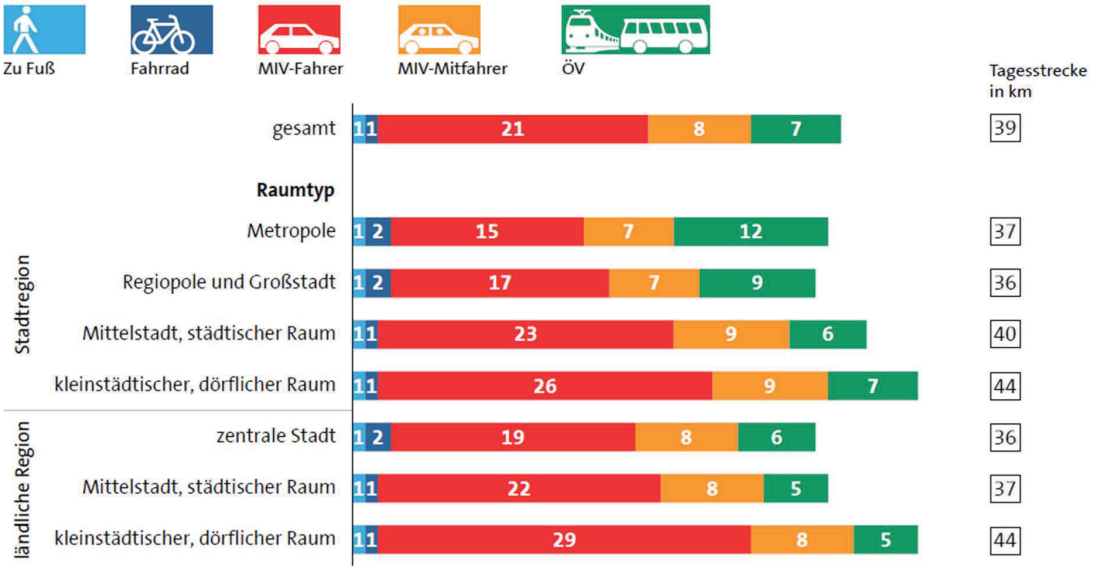


Abbildung 3.10: Durchschnittlich zurückgelegte Tagesstrecke nach Verkehrsmittel und Raumtyp. Angaben in Kilometern, alle Personen (Quelle: BMVI, 2019)

Tabelle 3.5: Kennwerte für Energiebedarf und Treibhausgasemissionen je Verkehrsmittel

Verkehrsmittel	kJ/Personenkilometer	g CO_{2eq} /Personenkilometer
Zu Fuß	0	0
Fahrrad	0	0
Auto (Fahrer)	2.533 [1]	213 [2]
Auto (Mitfahrer)	1.151 [3]	97
ÖPNV	722 [4]	50 [2]

[1] HBEFA 4.2 – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs; INFRAS Bern im Auftrag u.a. des Umweltbundesamt; abgerufen am 24.08.2022, www.hbefa.net/d/index.html

[2] UBA 2021: Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland 2020; https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0

[3] Abgeleitet aus „MiV – Fahrer“ bei durchschnittlich 2,2 Personen im Auto

[4] Ifeu 2017: Umweltbilanzierung Fernlinienbus; ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH; Heidelberg; 2017

Tabelle 3.6: Jährliche Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen je Einwohner (Ew) im Individualverkehr, unterschieden nach Raumtyp

		Energiebedarf in kWh/Ew/a	THG-Emissionen in kg CO_{2eq}/Ew/a
Stadtregionen	Mittelstadt & städtischer Raum	7.397	2.214
Ländliche Regionen	Mittelstadt & städtischer Raum	6.950	2.082
Ländliche Regionen	Kleinstädtischer, dörflicher Raum	8.748	2.626

Tabelle 3.7: Hochrechnung zu Energiebedarf und resultierenden Treibhausgasemissionen von Schwerlastverkehr und Nutzfahrzeugen im Betrachtungsraum

Verkehrsmittel	Anzahl Fahrzeuge (KBA, 2023)	Fahrleistung je Fahrzeug in km/Fahrzeug/a (KBA, 2022)	Kraftstoffverbrauch in l/100km (Destatis, 2018)	Energieverbrauch Schwerlastverkehr in MWh/a	CO_2-Emissionen Schwerlastverkehr in t CO_2/a
LKW bis 7,5 t	4.375	16.896	13,7	101.063	31.938
Sattelzugmaschinen bis 40 t	789	93.136	34,1	103.840	32.916
Landwirtschaftliche Zugmaschinen	3.481	363 [1]	34,1	4.177	1.392
Summe				209.080	66.246

[1] UBA 2020: Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018); UBA-Text 116/2020; Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau, 2020

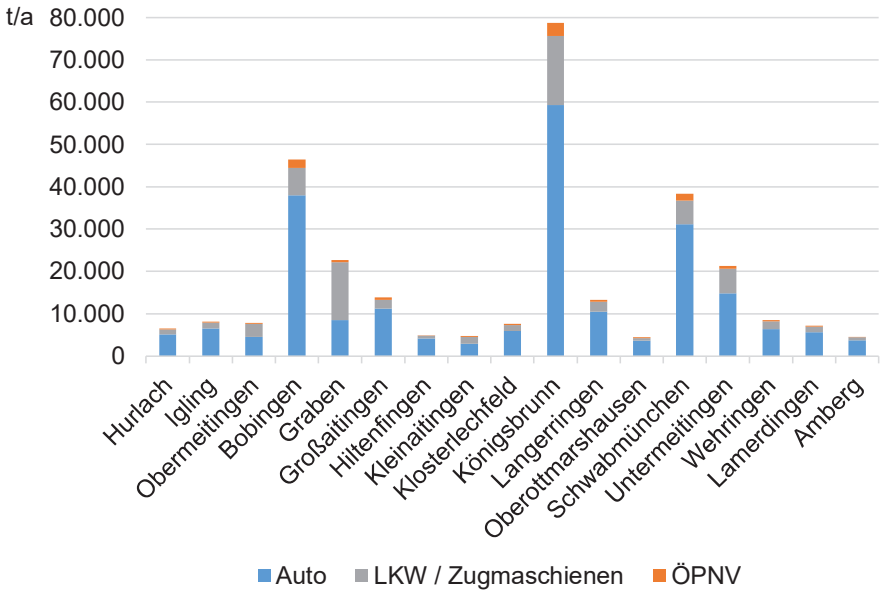


Abbildung 3.11: CO_2-Emissionen im Sektor Mobilität von 299.000 t/a nach Fahrzeugklassen

3.4 Energie- und Treibhausgasbilanz

3.4.1 Vorgehen

Die Energiebilanz wird auf der Ebene der Endenergie erstellt. Endenergie ist die vom Endverbraucher bezogene Energie, in der Regel in Form von Strom, Heizöl, Erdgas, Scheitholz, Holzpellets, Fernwärme oder Kraftstoffen.

Ausgehend von der Endenergiebilanz werden die Treibhausgasemissionen auf Basis von Emissionsfaktoren ermittelt. Tabelle 3.8 gibt einen Überblick über die verwendeten Faktoren. Der CO_2-Emissionsfaktor des deutschen Strommix ist UBA (2023a) entnommen. Der Faktor für Fernwärme ist jeweils individuell für die einzelnen Wärmenetze berechnet. Die spezifischen Emissionen im Individualverkehr sind in Tabelle 3.5 zusammengestellt. Alle anderen Faktoren entstammen Ifeu (2019). Eigengenutzter Strom aus erneuerbaren Energieanlagen ging nicht in die Treibhausgasbilanz ein.

Tabelle 3.8: Für die Treibhausgasberechnungen genutzte Emissionsfaktoren

Sektor	Energieträger	Emissionsfaktor in g CO_2eq/kWh
Strom	Strommix Deutschland 2022	474
Mobilität	Schwerlastverkehr, Diesel (Individualverkehr s. Tabelle 3.5)	317
Wärme	Holz (allgemein)	25
	Solarthermie	24
	Erdgas	247
	Heizöl	318
	Fernwärme	individuell, 90-158

3.4.2 Ergebnisse

Der Endenergieverbrauch im Betrachtungsraum im Jahr 2022 beträgt 2.838.000 MWh. Die Gesamtemissionen berechnen sich zu 872.000 t CO_{2eq} oder 8,5 t CO_{2eq} pro Einwohner. Abbildung 3.12 und Abbildung 3.13 zeigen die Aufteilungen in die Sektoren Strom, Mobilität und Wärme.

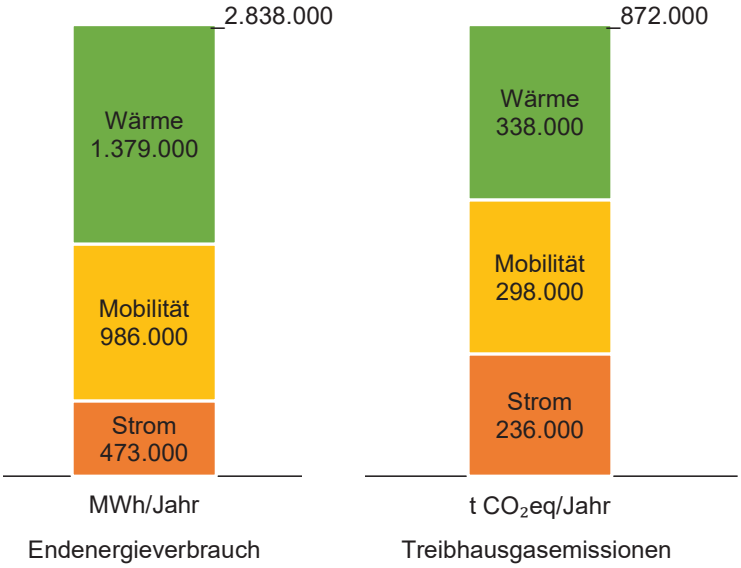


Abbildung 3.12: Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen im Betrachtungsraum nach Sektoren (Stand 2022)

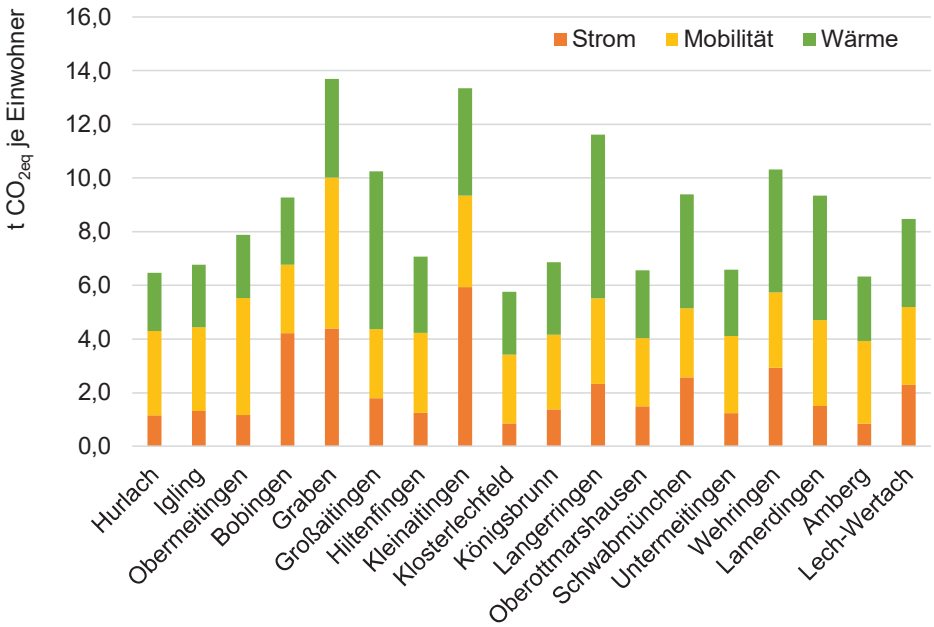


Abbildung 3.13: Treibhausgasemissionen je Einwohner und Jahr (Stand 2022)

4 Lokale Potenziale erneuerbarer Energien und Abwärme

4.1 PV-Freiflächen

Das Potenzial für PV-Freiflächenanlagen wurde im Jahr 2023 auf Grundlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2023 ermittelt. Danach können Anlagen in einem Umgriff um Autobahnen und Schienenstrecken an den EEG-Ausschreibungsverfahren teilnehmen. Der Korridor für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen an Autobahnen und Schienenstrecken wurde mit dem EEG 2023 auf 500 m definiert. Ein Streifen von 15 m parallel zu den Verkehrsachsen wurde freigehalten. Gemäß § 35 BauGB gilt außerdem die Errichtung von PV-Anlagen als privilegiert, die entlang von Autobahnen und Schienenwegen des übergeordneten Netzes mit mindestens zwei Hauptgleisen in einer Entfernung von 200 m gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn liegen. Diese Vorgaben sind der Analyse zugrunde gelegt.

Mittels Geoinformationsanalyse wurde der verfügbare Korridor um die Schienenstrecken im Betrachtungsraum ermittelt. Freizuhaltende Bereiche neben der Strecke wurden beachtet. In die Betrachtungen gehen nur Flächen ein, die derzeit tatsächlich landwirtschaftlich genutzt werden. Im Rahmen einer Vorbeurteilung wurden im Betrachtungsraum folgende Flächentypen in der Potenzialanalyse ausgeschlossen:

- Biotope aus der Biotopkartierung (Flachland)
- Biosphärenreservate
- Nationalparke
- Naturdenkmale
- Naturschutzgebiete
- geschützte Landschaftsbestandteile (flächig)
- Wiesenbrüter und Feldvogel (Kiebitz)
- Heil- und Trinkquellenschutzgebiete
- Bestandsanlage PV nach ATKIS[1]
- Überschwemmungsgebiete (vorläufig gesichert, festgesetzt)
- Regionalplanung: „Bereiche, die für die Siedlungsentwicklung besonders in Betracht kommen“, Vorranggebiete (anderer Nutzungen) sowie Trenngrün
- Kleinstflächen aus dem Verschnitt von Potenzialflächen mit Flurstücksgrenzen

Die vorgenommene Einschätzung zur Flächeneignung kann eine genehmigungsrechtliche Prüfung im Einzelfall nicht ersetzen. Planungen auf Basis präzisierter, kleinräumiger Untersuchungen können von der raumgreifenden Gebietskulisse abweichen.

Zur Ermittlung der elektrischen Leistung wurde eine Belegungsdichte von 100 W/m² verwendet (UBA, 2023 b). Der Stromertrag wurde über die berechneten Volllaststunden aller PV-Anlagen im Betrachtungsraum zu 1.100 h/a ermittelt (Rohdaten: Energie-Atlas Bayern).

Das in Tabelle 4.1 genannte Potenzial für PV-Freiflächenanlagen gemäß der Gebietskulisse des EEG 2023 und den Privilegierungen nach § 35 BauGB entspricht einem Anteil an den gesamten Gemeindeflächen von etwa 13 %. Unabhängig davon werden PV-Freiflächenanla-

[1] ATKIS: Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem. Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung.

gen zunehmend ohne EEG-Förderung attraktiv. Das Potenzial für Anlagen auf landwirtschaftlichen Flächen in der Direktvermarktung ist deshalb ebenfalls angegeben. Abbildung 4.1 zeigt die Lage der Potenzialflächen.

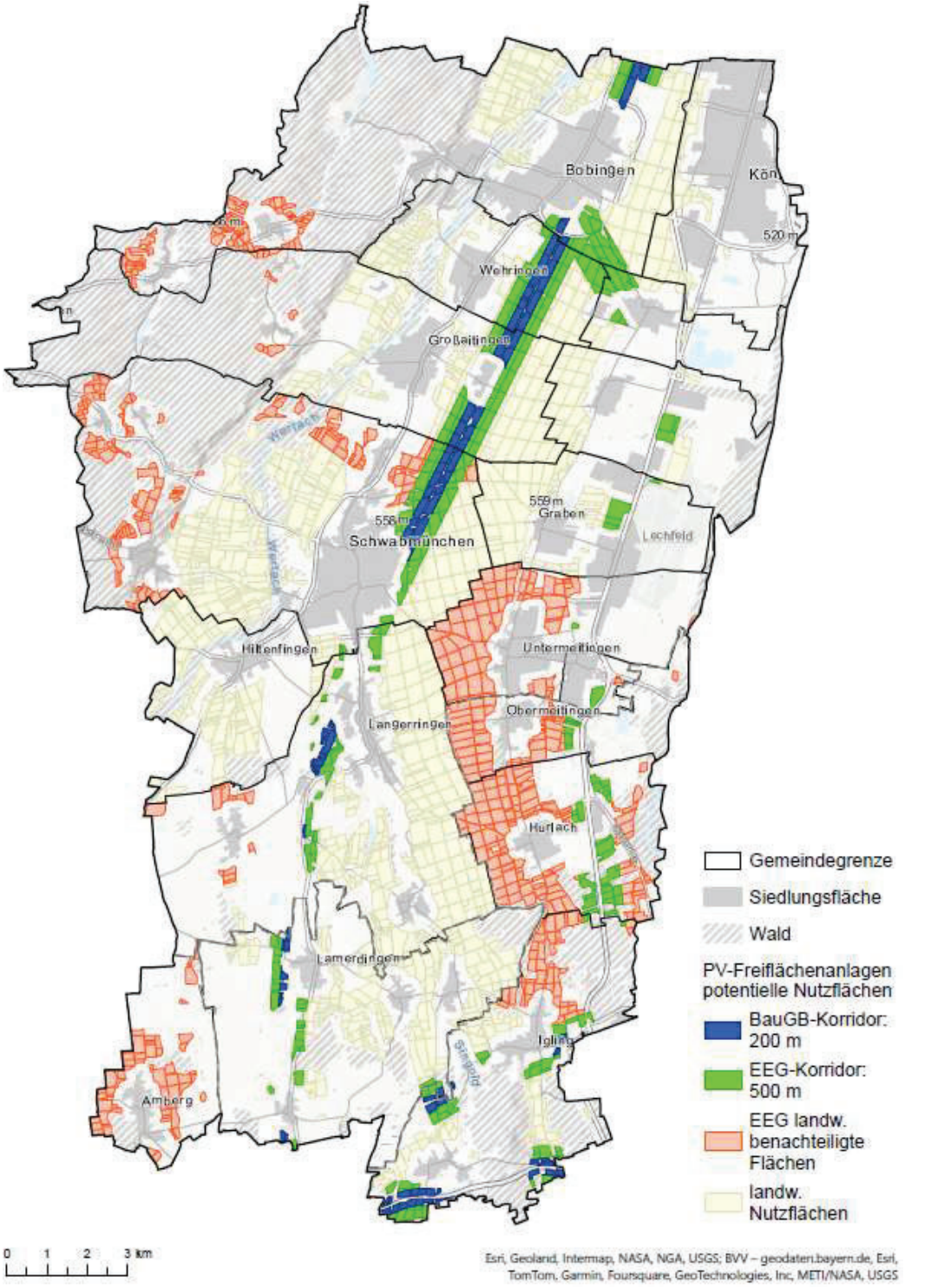


Abbildung 4.1: Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen (Flächenfärbungen gemäß Legende)

Tabelle 4.1: Ausbaupotenzial von PV-Freiflächenanlagen nach EEG 2023 und BauGB

Potenzialfläche	Fläche in ha	Leistung in kWp	Stromertrag in MWh/a	Anteil an Gesamtfläche
Privilegiert nach BauGB	485	485.000	533.000	1,2 %
EEG-Kulisse: Autobahnen & Schienenstrecken	1.339	1.339.000	1.472.000	3,4 %
EEG-Kulisse: landwirtschaftlich benachteiligte Gebiete	3.124	3.124.000	3.436.000	8,0 %
Direktvermarktung landwirtschaftliche Flächen	8.401	8.401.000	9.241.000	21,5 %

4.2 PV-Dachflächen

Auf Basis eines vorliegenden LoD2-Gebäudemodells wurden die Potenziale für die PV-Stromerzeugung auf Gebäudedächern mittels Geoinformationsberechnungen bestimmt.

Folgende Dachflächen wurden nicht weiter berücksichtigt:

- Dachflächen mit einem Ertragsfaktor <70 % (bei ungünstiger Neigung, Orientierung)
- Dachflächen mit einer Fläche kleiner als 25 m² (Kleinstflächen)

Gewerbebauten und öffentliche Sonderbauten wurden inklusive ihrer Nebengebäude wie beispielsweise Lagerhallen oder Turnhallen berücksichtigt. Bei Wohngebäuden gingen kleine Nebengebäude wie Garagen oder Schuppen nicht in die Berechnung ein.

Zur Ermittlung des Gesamtpotenzials wurden für die Solardachanlagen eine Leistungsdichte pro Dachfläche von 210 W/m² angenommen. Für Wohngebäude wurde eine Dachflächennutzung von 90 % für die Stromerzeugung und von 10 % für die Wärmerzeugung durch Solarthermieanlagen vorgesehen. Dachflächen von Nichtwohngebäuden und Liegenschaften wurden zu 100 % dem PV-Strompotenzial zugeordnet.

Eine Aufteilung der ermittelten Dachflächen nach Gebäudenutzung ist in Abbildung 4.2 dargestellt. Tabelle 4.2 zeigt das Gesamtpotenzial und die Bestandsenergieeinspeisung, in einer Aufteilung zwischen Wohngebäuden, Gewerbebauten und öffentlichen Bauten inklusive ihrer Nebengebäude. Das Ausbaupotenzial resultiert aus der Differenz zwischen Gesamtpotenzial und Bestand.

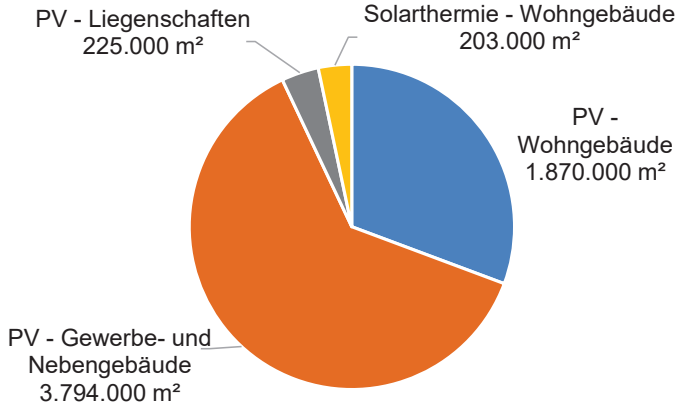


Abbildung 4.2: Für solare Wärme- und Stromerzeugung nutzbare Dachflächen nach Gebäudenutzung

Tabelle 4.2: Solares Dachflächenpotenzial

	Gebäudenutzung	Anzahl (Adressen)	Nutzfläche in m²	Leistung in kW	Energie in MWh/a
PV-Strom	Wohnen	27.714	1.870.034	394.577	395.455
	Gewerbe	24.932	3.794.,078	800.550	771.030
	öffentliche Bauten	873	224.599	47.390	45.464
	Gesamtpotenzial	53.519	5.888.710	1.242.518	1.211.929
	Bestand	-	-	-	98.600
Solar-thermische Wärme	Wohnen	27.714	203.200	81.280	81.511
	Gewerbe	-	-	-	-
	öffentliche Bauten	-	-	-	-
	Gesamtpotenzial	27.714	203.200	81.280	81.511
	Bestand	-	-	-	23.700

4.3 Wasserkraft

Im Betrachtungsraum sind aktuell 32 Wasserkraftanlagen in Betrieb, siehe Tabelle 4.3. Nach Einschätzung des Landesamtes für Umwelt (LfU) wird es bis auf Weiteres „keine neuen Querbauwerke an bayerischen Flüssen“ geben.

Für drei Wasserkraftanlagen entlang der Wertach in Schwabmünchen, Großaitingen und Wehringen weist der LfU-Kartendienst ein Potenzial zur Nachrüstung und Modernisierung aus. Als Nachrüstung werden Maßnahmen zur Steigerung der Stromerzeugung durch Erhöhung der Ausbauleistung und Jahresarbeit gesehen, mit Auswirkungen auf die Wasserstands- und Abflussverhältnisse. Modernisierung beinhaltet die Steigerung der Stromerzeugung ohne Auswirkungen auf die Wasserstands- und Abflussverhältnisse. Für die Nachrüstung ist ein wasserrechtliches Genehmigungsverfahren erforderlich (LfU, 2023).

Das LfU weist für die Wertach ein technisches Potenzial in Höhe von 700 MWh/a für Modernisierung und 2.000 MWh/a für Nachrüstung aus (LfU, 2024). Die Potenziale wurden gemäß

ihrer Leistung anteilig auf die Wasserkraftanlagen an der Wertach aufgeteilt. Daraus ergibt sich für die Anlagen im Betrachtungsraum das in Tabelle 4.3 ausgewiesene technische Potenzial.

Die tatsächliche Größe der Nachrüstpotenziale ist jedoch stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig und bedürfen einer detaillierten Prüfung. Wasserrechtliche Genehmigungsverfahren gelten als aufwändig, weshalb in der Vergangenheit derartige Potenziale kaum gehoben wurden.

Tabelle 4.3: Technisches Potenzial der Wasserkraftanlagen zur Stromerzeugung in Gemeinden des Betrachtungsraums

	Installierte Leistung in kW	**Potenzial Nachrüstung** in MWh/a	**Potenzial Modernisierung** in MWh/a
Großaitingen	2.400	475	166
Schwabmünchen	2.600	515	180
Wehringen	2.600	515	180
Betrachtungsraum (Summe)	7.600	1.505	526

Neben der Gewinnung von elektrischer Energie können Oberflächengewässer auch zur Entnahme von thermischer Energie genutzt werden. Fließgewässer sind hierfür besonders geeignet. Im Betrachtungsraum bieten sich hierfür insbesondere Wertach und Singold an. Technisch kann die Wärmeentnahme durch Installation eines Wärmetauschers direkt im Fließgewässer – beispielsweis an einem Querbauwerk – oder durch Entnahme eines Wasserteilstroms erfolgen. Tabelle 4.4 zeigt potenzielle Entzugsleistungen bei Entnahme eines Teilstroms von 10 % und Abkühlung dieses Teilstroms um 1 Kelvin.

Tabelle 4.4: Beispielhafte Potenzialermittlung der Wärmegewinnung aus Wertach und Singold. Abflussmengen nach Hochwassernachrichtendienst Bayern

Kennwert	**Zeitraum**	**Einheit**	**Wertach bei Türkheim**	**Singold bei Langerringen**
Median der Abflussmenge	Dez. 2023 – Feb. 2024	m³/s	20	3
	Jun. 2023 – Aug. 2023	m³/s	6	2
Entzugsleistung	Dez. 2023 – Feb. 2024	kW	8.200	1.300
	Jun. 2023 – Aug. 2023	kW	2.700	700

4.4 Windkraft

Zur Errichtung von Windkraftanlagen kommen besonders windhöffige Flächen in Frage, durch deren Nutzungsänderung Schutzgüter nicht beeinträchtigt werden, auf denen geringe Mehrbelastungen für Mensch und Umwelt entstehen und die ressourcenschonend erschließbar sind.

Seit 2023 können Windkraftanlagen weiterhin unter Einhaltung der sogenannten 10H-Abstände errichtet werden und zusätzlich auch

- auf Flächen, für die Ausnahmen nach § 82 Abs. 5 Nr. 2-6 BayBO gelten. Dies sind Flächen mit Nähe zu und Stromnutzung im Gewerbegebiet sowie entlang von Verkehrswegen, Repowering-Vorhaben, Militärübungsplätze oder im Wald, oder
- in Vorrang- und Vorbehaltsgebieten der Regionalplanung für Windkraft oder in Sonderbauflächen/-gebieten für Windkraft der Flächennutzungspläne (beides gemäß § 82 Abs. 5 Satz 1 BayBO).

Zur näheren Untersuchung werden die in Frage kommenden Flächen ermittelt. Hierzu werden die Regelungen und Ausnahmen nach BayBO angewendet. Schutzbelange des Natur- und Umweltschutzes werden ohne weitere Pufferbereiche beachtet. Überflutungszonen gingen ebenfalls nicht als Potenzialflächen ein. Mittel- und Hochspannungsleitungsbereiche und Verkehrsachsen wurden über Abstandsbereiche freigehalten.

In baumfreien Talbereichen des Betrachtungsraumes werden höhere Windgeschwindigkeiten erwartet, und naturschutzrechtliche Einschränkungen sind weniger wahrscheinlich. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt nach Datenauswertung aus dem Projekt QuWind100 (TU Dresden, 2019) in 140 m Höhe bei 8,0 m/s, während in den westlichen Wäldern bei analoger Höhe im Mittel nur 5,6 m/s erreicht werden. Je nach gewählter oder zulässiger Anlagenhöhe verschieben sich die Prognosewerte für jeden Standort – im Trend bleiben die Aussagen gültig. Die ausgewerteten Windprognosen ersetzen keine Windmessung vor Ort. Die mittlere Windgeschwindigkeit liefert einen Anhaltspunkt zu dem im Mittel erreichbaren Stromertrag, eine Aussage zur Windhöffigkeit enthält sie jedoch nicht.

Für einige Potenzialflächen für Windkraft bestehen Interessenskonflikte mit der militärischen Luftfahrt, die in Klärung sind. Das umsetzbare Potenzial kann sich gegenüber den Angaben in Tabelle 4.5 daher gegebenenfalls noch reduzieren.

- In Abbildung 4.3 weisen orange markierte Flächen Höheneinschränkungen der militärischen Fliegerei auf. Hier können nur Anlagen bis 200 m Gesamthöhe errichtet werden. Dies reduziert die wirtschaftliche Umsetzbarkeit in den vorliegenden Waldflächen.
- Türkis eingefärbte Potenzialflächen zur Windkraftnutzung liegen in einem Bereich 4-6 km westlich des Flugfeldes Lechfeld. Nach § 12 (3) 1 a) LuftVG ist hier die Zustimmung der Luftfahrtbehörden erforderlich, wenn Windkraftanlagen gebaut werden sollen.

Da beide Einschränkungen keinen automatischen Ausschluss der Umsetzung von Windkraftanlagen über 1 MW bedeuten, werden die Flächen weiter als potentiell nutzbar eingestuft.

Als Ansatzpunkte interkommunaler Entwicklung von Windkraftstandorten wurden in Abbildung 4.3 direkt angrenzende Verbundflächen mitverzeichnet. Potentielle Projektansätze häufen sich im Westen des Betrachtungsraums (vgl. Abbildung 4.3) und sind im Süden in vergleichsweise kleineren Teilflächen ebenfalls möglich.

Die bayerischen Planungsverbände sind aufgerufen, Flächenanteile von 1,1 % bis 2027 und von 1,8 % bis 2032 als Vorranggebiete für die Windkraft auszuweisen. Der Abstimmungsprozess hierzu läuft in den vier regionalen Planungsverbänden, denen das Betrachtungsgebiet zugeordnet ist (vgl. Tabelle 2.1). Die Flächen mit technischem Potenzial, die im Rahmen der Vorplanung ermittelt wurden, summieren sich zu rund 2.500 ha (Abbildung 4.3). Dies entspricht einem Anteil von 6,5 % der Gesamtgemeindeflächen (rund 39.000 ha). Das ermittelte Stromerzeugungspotenzial bildet die Grundlage der Potenzialdarstellungen innerhalb dieser Studie. Es könnten maximal 100 Windräder im Betrachtungsraum entstehen, die bei einer erwarteten Leistung von 436 MW Strom im Umfang von 1.046 GWh pro Jahr erzeugen. Die Ergebnisse der Analysen für jede Einzelkommune sind in Tabelle 4.5 aufgeschlüsselt.

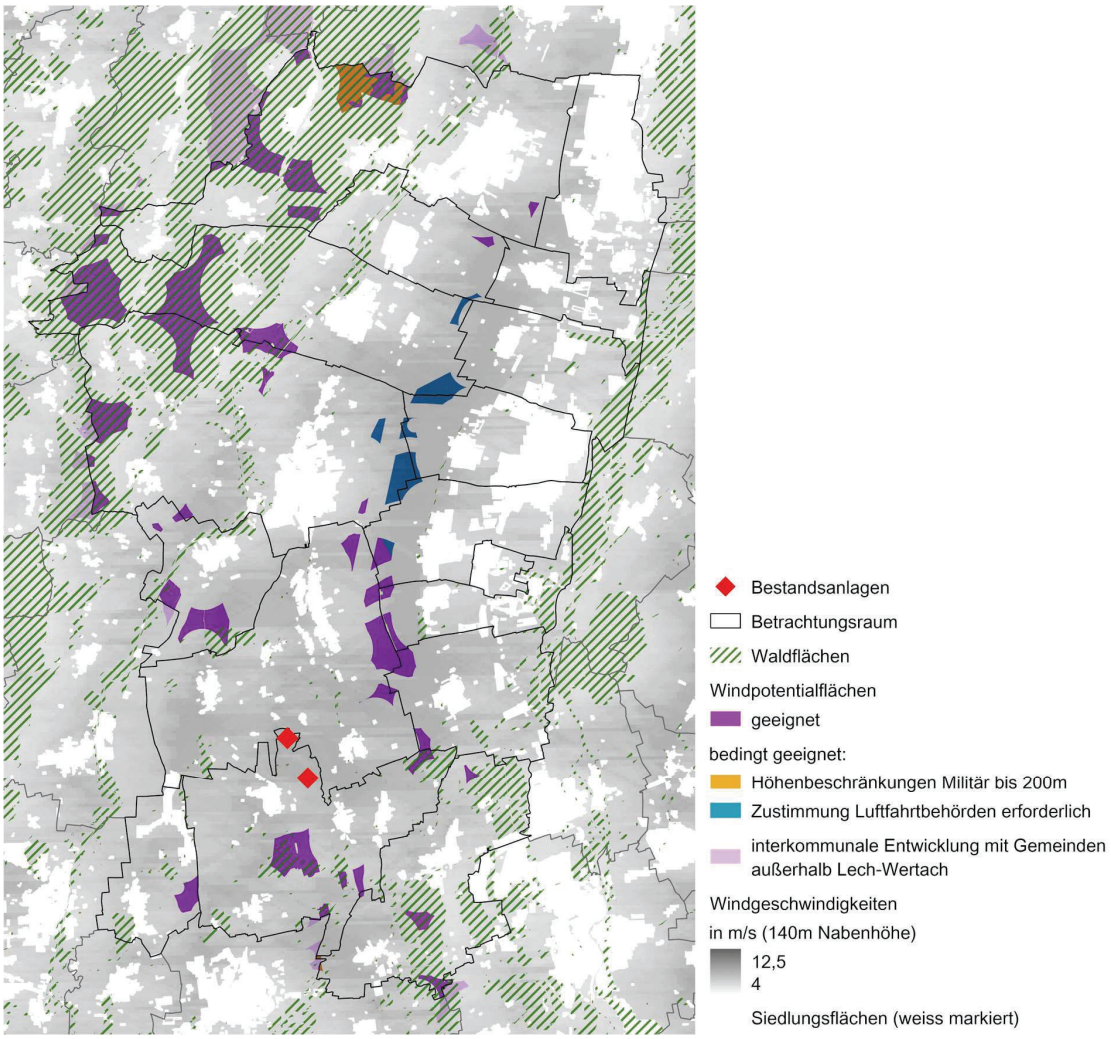


Abbildung 4.3: Windpotenzialflächen und Bestandsanlagen im Betrachtungsraum

In mehreren Kommunen wurden auf Basis von Vorgängerstudien und politischen Abwägungsprozessen Konzentrationsflächen identifiziert und Planaufstellungsverfahren der Flächennutzungsplanung begonnen oder vollzogen.

In Amberg besteht eine Vorrangfläche der Regionalplanung (RPV-15 Donau-Iller) im Bereich des ehemaligen Senders Wertachtal, die auch in der sechsten Fortschreibung (Durchführungszeitraum 2024-2025) erhalten bleiben soll. Die anvisierten Windkraft-nutzflächen befinden sich derzeit überwiegend in Abstimmungsprozessen oder bedürfen der Genehmigung der zuständigen Regierungen. Nach Vorliegen dieser Ergebnisse sind die Windkraftpotenziale neu zu bewerten.

Tabelle 4.5: Windkraftpotenzial in den Gemeinden

Gemeinde	**Fläche** in ha	**Windräder Anzahl (max.)**	**Leistung in kW**	**Stromertrag** in MWh	**Prüffläche in Windstudie IB Sing** in ha
Hurlach	68	3	12.780	35.703	146
Igling	71	4	17.040	40.282	-
Obermeitingen	41	2	8.520	20.123	50
Bobingen	365	12	51.120	89.580	987
Graben	57	3	12.780	36.769	157
Großaitingen	702	22	93.720	196.384	1.141
Hiltenfingen	161	8	34.080	97.772	369
Langerringen	196	8	34.080	108.416	350
Schwabmünchen	490	20	85.200	204.895	880
Untermeitingen	70	3	12.780	40.380	165
Lamerdingen	241	13	55.380	150.278	-
Amberg	51	2	8.520	25.224	-
Königsbrunn	-	-	-	-	13
Wehringen	-	-	-	-	341
Lech-Wertach	2.514	100	426.000	1.045.805	-

4.5 Biogas

Die Potenziale zur Energieerzeugung aus Biogas setzen sich zusammen aus dem Potenzial durch den Anbau von Energiesubstraten (NaWaRo: nachwachsende Rohstoffe) und dem Potenzial aus landwirtschaftlichen Reststoffen wie Gülle und Mist. Daten zur verfügbaren landwirtschaftlichen Fläche und zu den Viehbeständen im Betrachtungsraum wurden der Kommunalstatistik des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung (LfStat, 2022) entnommen. Zur Ermittlung der Biogasbildungspotenziale wurde auf Kennwerte der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR, 2016) zurückgegriffen.

Prinzipiell sind sämtliche landwirtschaftlichen Flächen für den Anbau von Substraten zur Biogaserzeugung geeignet (Nutzung beispielsweise als Mais- oder Grassilage). Für eine ausgewogene Nutzung der Flächen wird angenommen, dass maximal 20 % der landwirtschaftlichen Fläche für den Anbau von Substraten genutzt wird. Der Rest der Flächen wird dem Nahrungsmittel- und Futteranbau zugeordnet.

Für die Potenzialbetrachtung wird angenommen, dass rund 65 % der anfallenden tierischen Exkremente in Biogasanlagen genutzt werden können (UBA, 2018). Für die Anzahl an Schweinen und Milchkühen stehen aus Datenschutzgründen teilweise keine Werte auf Gemeindeebene zur Verfügung. Ersatzweise wurde ein Wert aus der Entwicklung der Tiere je Halter und der Tiere gesamt über verfügbare Daten aus den Jahren 1999 und 2007 interpoliert.

Die Gegenüberstellung des Gesamtpotenzials zur Biogaserzeugung mit den bereits genutzten Potenzialen zeigt, dass das Potenzial zur Stromerzeugung in Biogasanlagen zu 74 % genutzt wird. Zum Umfang der Wärmenutzung in den Bestandsanlagen liegen nur punktuelle Informa-

tionen vor. Für die Berechnung der in Tabelle 4.6 eingetragenen Werte zum Strom und Wärmepotenzial wurde der Eigenwärme- und Eigenstrombedarf zur Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebs bereits abgezogen.

Die Abwärme einiger Biogasanlagen im Betrachtungsraum wird bereits genutzt, meist zur Wärmebereitstellung in Wohngebäuden über Nahwärmenetze. Die Ausweitung der Abwärmenutzung sollte bei allen Biogasanlagen wiederkehrend geprüft werden.

Biogasanlagen sollten auch nach Auslaufen der EEG-Vergütung nach 20 Jahren weiterbetrieben werden. Zur Steigerung der Abwärmenutzung kann die Verlegung der BHKW zu den Wärmeabnehmern geprüft werden. Ist keine Abwärmenutzung möglich, sollte die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan geprüft werden (siehe Maßnahme E4 in Abschnitt 8.6).

Tabelle 4.6: Biogaspotenzial und daraus abgeleitetes Potenzial zur Wärme- und Stromabgabe bei Einsatz eines BHKW

Gemeinde	Strompotenzial (Absolut)	Stromerzeugung Ist	Strom-Ausbaupotenzial	Wärmepotenzial (Absolut) *
	MWh/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a
Hurlach	4.490	10.261	0	3.780
Igling	4.960	3.871	1.089	4.180
Obermeitingen	1.760	0	1.760	1.480
Bobingen	6.830	7.432	0	5.750
Graben	2.520	0	2.520	2.120
Großaitingen	6.200	0	6.200	5.220
Hiltenfingen	4.060	9.307	0	3.420
Kleinaitingen	3.070	1.496	1.574	2.590
Klosterlechfeld	260	0	260	220
Königsbrunn	3.220	2.906	314	2.720
Langerringen	13.310	11.876	1.434	11.210
Oberottmarshausen	1.930	0	1.930	1.630
Schwabmünchen	11.010	0	11.010	9.270
Untermeitingen	3.520	0	3.520	2.970
Wehringen	3.280	3.112	168	2.760
Lamerdingen	10.010	11.182	0	8.420
Amberg	2.570	0	2.570	2.160
Betrachtungsraum	83.000	61.442	-	69.900

4.6 Biomasse zur Wärmegewinnung

4.6.1 Waldholz

Zur Bestimmung des Waldholzpotenzials wurde der ATKIS-Datensatz ausgewertet. Das Maß der Holznutzung wurde nach Wuchsgebieten und vorliegenden Waldarten zugeordnet.

Die Waldflächen wurden über eine Geoinformationsauswertung bestimmt, nach ihren Waldarten (Nadel-, Laub- und Mischwald) und Wuchsgebieten unterschieden und mit dem vorliegen-

den Nutzungsfaktor multipliziert. Für die drei Waldarten wurden durchschnittliche Energiegehalte für das frisch geschlagene Holz festgelegt und ein Gesamtenergiegehalt des Holzes zur energetischen Nutzung berechnet.

Nach dem Bericht der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) zum Energieholzmarkt in Bayern 2018 (LWF 2020) gingen 2018 rund 43 % des Holzes in die energetische Nutzung. Als konservative Annahme wurden 30 % des Waldholzes für die energetische Verwertung vorgesehen. Der Rest des Holzes wird der bedeutenden stofflichen Verwertung zugerechnet.

Im Betrachtungsgebiet sind gut 7.500 ha und somit 19 % der Gesamtfläche bewaldet. Bei den Waldflächen handelt es sich nach der forstlichen Übersichtskarte zum Waldbesitz sowohl um Privatwald als auch um Staats- und Körperschaftswald.

Westliche Bereiche von Bobingen, Großaitingen und Schwabmünchen liegen in Wuchsgebiet 12: Tertiäres Hügelland. Der östliche Teil des Betrachtungsgebiets liegt in Wuchsgebiet 13: Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- & Altmoränenlandschaft. Das über Nutzungsfaktoren berechnete Holzpotenzial zur Wärmeerzeugung ist in Tabelle 4.7 enthalten.

Tabelle 4.7: Waldholzpotenzial und prognostizierter Verbrauch in Bestandsanlagen

Gemeinde	**Wald-fläche**	**Holz-zuwachs**	**Energieholz**	**Energie-potenzial**	**Energiever-brauch Ist**	**Ausbaupo-tenzial**
	ha	fm/a	fm/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a
Hurlach	192	2.901	870	1.594	3.099	0
Igling	877	13.033	3.910	7.102	7.614	0
Obermeitin-gen	141	1.736	521	995	1.953	0
Bobingen	2.025	27.159	8.148	14.717	18.671	0
Graben	6	71	21	40	4.990	0
Großaitingen	1.685	23.312	6.994	12.320	7.796	4.524
Hiltenfingen	158	2.007	602	1.103	2.963	0
Kleinaitingen	224	2.641	792	1.501	1.588	0
Klosterlech-feld	5	86	26	47	2.820	0
Königsbrunn	6	66	20	38	17.801	0
Langerringen	98	1.263	379	700	8.246	0
Oberottmars-hausen	79	1.182	355	635	2.043	0
Schwabmün-chen	1.376	16.801	5.040	9.215	17.165	0
Untermeitin-gen	29	372	112	211	7.102	0
Wehringen	167	2.062	619	1.152	4.104	0
Lamerdingen	349	5.193	1.558	2.843	6.242	0
Amberg	86	1.156	347	657	2.484	0
Betrach-tungsraum	7.503	101.041	30.312	54.870	116.680	0

Dem jährlichen Energiepotenzial durch den Holzzuwachs auf Forstflächen stehen die bereits heute in den Bestandsanlagen genutzten Holzmengen gegenüber. Um diese zu ermitteln, wurden die Daten zu den im Betrachtungsraum installierten Biomasseanlagen ausgewertet. Die Daten stammen zum einem aus dem Energie-Atlas Bayern und zum anderen aus der Auflistung der geförderten Biomasseanlagen durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Die sich daraus ergebenden Potenziale zur Energieerzeugung aus Holz von forstwirtschaftlichen Flächen sind in Tabelle 4.7 dargestellt. Der berechnete Holzverbrauch zur Wärmeerzeugung von 117.000 MWh/a übersteigt das ermittelte Energiepotenzial von 55.000 MWh.

Folgende Gründe können genannt werden, warum der Holzverbrauch zur Energieerzeugung das ermittelte Potenzial übersteigt:

- Der jährliche Holzzuwachs im Betrachtungsraum wird zu mehr als 30 % als Energieholz und zu geringeren Anteilen stofflich verwertet.
- Brennholz wird von außerhalb des Betrachtungsraums bezogen.
- Den Waldflächen im Betrachtungsraum wurde im Jahr der Bilanzierung mehr als der statistisch übliche jährliche Holzzuwachs entnommen.

Durch den hohen Anteil erntereifer Fichtenwälder und den klimawandelbedingten Umbau der Wälder ist in den nächsten zehn Jahren mit einem um 20 bis 40 % höheren Holzangebot zu rechnen. Anschließend wird ein Rückgang in etwa auf das heutige Niveau erwartet (Steyer, 2024).

4.6.2 Kurzumtriebsplantagen

Die Möglichkeit zur Erschließung weiterer Potenziale im Bereich der festen Biomasse bietet sich durch die Nutzung von bisher landwirtschaftlich wenig geeigneten kommunalen und privaten Flächen für den Betrieb von Kurzumtriebsplantagen (KUP). Hier können schnell wachsende Bäume oder Sträucher – beispielsweise Weiden und Pappeln – angepflanzt werden, um innerhalb kurzer Wachstumszeit Holz als nachwachsenden Rohstoff zu produzieren.

Für die Ermittlung des Potenzials wurden Ergebnisse aus dem KUP-Scout der bayerischen Landesanstalt für Wald und Frostwirtschaft (LWF) ausgewertet. Demnach sind folgende Flächenanteile grundsätzlich für KUP geeignet:

- Ackerfläche mit guter Wasserversorgung und relativ geringer natürlicher Ertragsfähigkeit
- Stark geneigte Ackerflächen

19 % der Ackerflächen im Betrachtungsraum fallen nach dieser Analyse in die Kategorie der Ackerflächen mit guter Wasserversorgung und relativ geringer natürlicher Ertragsfähigkeit, oder sind stark geneigt. Eine Nutzung von Ackerflächen für den Anbau von KUP ist somit in weiten Teilen des Betrachtungsraums möglich, tritt jedoch in Konkurrenz mit anderen Nutzungen wie Futter-, Lebensmittel- und Biogassubstratanbau. Das Flächenpotenzial für Kurzumtriebsplantagen wurde deshalb auf maximal 5 % der Gemeindefläche begrenzt und liegt dann bei 730 ha. Dies entspricht einer nutzbaren Wärmemenge von 23.300 MWh/a.

4.6.3 Reststoffe

Altholz und Sperrmüll sind grundsätzlich ebenfalls geeignet, einen Beitrag zur Wärmeerzeugung aus Biomasse zu leisten. Beide Ströme gehen jedoch häufig bereits in die thermische Verwertung. Holziges Grüngut wird im Allgemeinen kompostiert.

Zahlen zum Abfallaufkommen sind in der Abfallbilanz Bayern (LfU, 2021 b) für die Landkreise verfügbar.

Tabelle 4.8 zeigt die 2021 angefallenen Mengen an Altholz, Sperrmüll und Grüngut. Die angegebenen Wärmemengen gehen nicht in die Potenzialdarstellung im Folgeabschnitt ein.

Tabelle 4.8: Reststoffpotenzial im Betrachtungsraum, basierend auf der Abfallbilanz Bayern für die Landkreise (Quelle: Abfallbilanz Bayern, LfU 2021 b)

Abfallart	**Menge** in t	**Wärmemenge** in MWh/a
Altholz	2.208	11.460
Sperrmüll	1.400	5.000
Bioabfall: Gesamtmenge gesondert erfasstes Grüngut	7.100	21.900

4.6.4 Folgerungen zu Wärme aus Biomasse

Abbildung 4.4 stellt die Gesamtpotenziale zur Wärmeerzeugung aus fester Biomasse dar. Für Grüngut, Sperrmüll, Altholz und Waldholz bestehen in der Regel bereits im Ist-Zustand gute stoffliche und energetische Verwertungspfade.

Die Nutzung der Abwärmemengen von Biogasanlagen erfolgt derzeit punktuell. Zum genauen Umfang stehen keine Angaben zur Verfügung. Eine Ausweitung der Nutzung ist anzustreben.

Nennenswertes Ausbaupotenzial besteht weiterhin durch den Aufbau von Kurzumtriebsplantagen. Angaben zur bestehenden Nutzung von KUP-Holz für Heizzwecke liegen nicht vor.

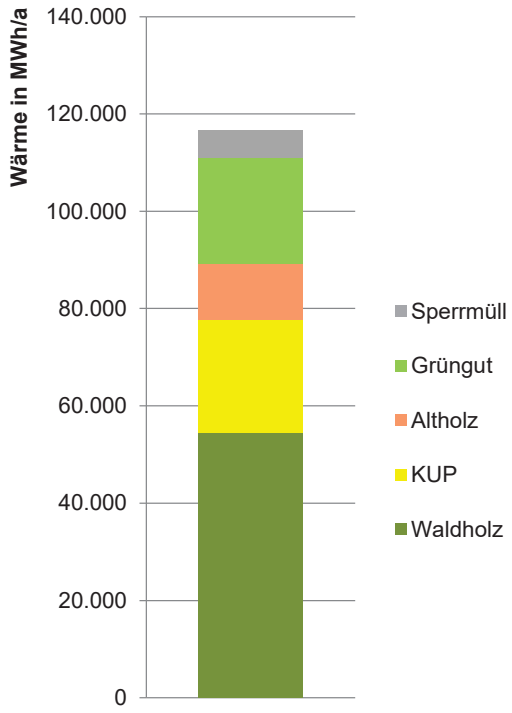


Abbildung 4.4: Gesamtpotenzial zur regenerativen Wärmeerzeugung aus Biomasse

4.7 Abwärme

Als Quellen nutzbarer Abwärme kommen insbesondere energieintensive Verarbeitungsprozesse und Biogasanlagen in Betracht. Die Abwärme von Biogasanlagen im Betrachtungsraum wird teilweise bereits in Wärmenetzen oder zu Trocknungszwecken genutzt. In der Potenzialübersicht und dem Zielszenario ist das Abwärmepotenzial von Biogasanlagen dem Biogas zugeordnet.

Die im Energieatlas Bayern ausgewiesenen Abwärmepotenziale sind in Abbildung 4.5 und Tabelle 4.9 dargestellt und beschrieben. Das Biomassekraftwerk in Großaitingen (Nr. 6 in Tabelle 4.9) wurde mittlerweile geschlossen (Veolia, 2024). Konkrete Wärmepotenziale haben zudem zwei Unternehmen in Bobingen gemeldet.

Daneben liegen bei Unternehmen bestimmter Branchen häufig Abwärmepotenziale vor. In Frage kommende Unternehmen im Betrachtungsraum wurden anhand ihrer jeweiligen Branche bestimmt (IHK, 2023) und sind in Tabelle 4.10 aufgeführt. Eine Klärung der Einzelfälle und quantitative Bestimmung lag außerhalb des Rahmens dieser Studie. Die Möglichkeiten zur Abwärmenutzung sind abhängig von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten – insbesondere Temperaturniveau, Wärmeträgermedium, Kontinuität des Anfalls, vorhandene Verteilinfrastruktur – und müssen im Einzelfall technisch und wirtschaftlich geprüft werden.

Tabelle 4.9: Gemeldete Abwärmequellen im Energieatlas Bayern (LfU, 2024 b). Räumliche Darstellung der Abwärmequellen in Abbildung 4.5

Nr.	Name	Gemeinde	Abwärmemenge MWh/a	Temperatur °C	Betriebsdauer h/a
1	Bioenergie Schmid GbR	Hurlach	2.100	189 - 244	8.750
2	Thomas Höfler	Igling	1.600	265 - 390	5.500 - 8.500
3	Trevira GmbH	Bobingen	1.600	160	8.700
4	Bioenergie Weber GbR	Bobingen	1.300	324 - 379	8.000 - 8.500
5	ABB Service GmbH	Bobingen	1.400	110	2.500 - 6.300
6	Veolia Umweltservice Süd GmbH & Co. KG, Biomassekraftwerk Großaitingen	Großaitingen	[2] 5.800	125	6.400
7	AR Packaging GmbH	Königsbrunn	1.100	67 - 80	4.900 - 7.650
8	Scheifele & Wollmann Biogas GbR	Langerringen	1.100	216 - 460	3.150 - 7.900
9	Ritter GmbH	Schwabmünchen	3.300	131 - 409	4.150 - 7.000
10	RAPIS - Ziegel Schmid GmbH & Co. KG	Schwabmünchen	4.600	220	6.450
11	"OSRAM GmbH, Werk Schwabmünchen"	Schwabmünchen	1.300	103 - 150	6.000 - 8.000
12	Alois Götz	Lamerdingen	1.200	333 - 450	8.500
13	SchuPo GmbH & Co. KG	Lamerdingen	1.100	200 - 356	4.850 - 8.650

[2] Mit Mitteilung vom 15.02.2024 hat der Betreiber die Schließung des Biomassekraftwerk Großaitingen bekannt gegeben (siehe https://newsroom.veolia.de/pressreleases/veolia-schliesst-biomassekraftwerk-am-standort-grossaitingen-3303471)

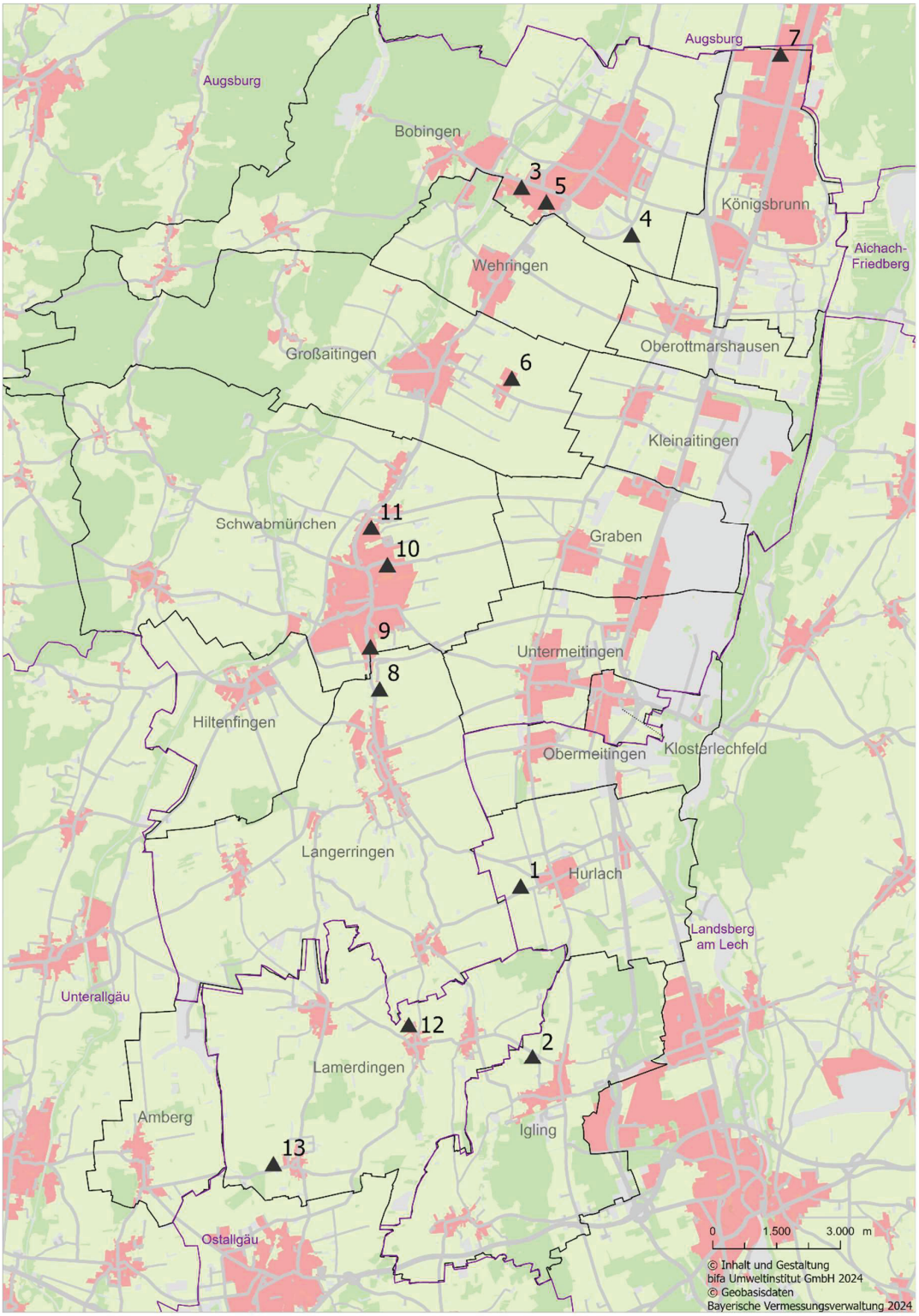


Abbildung 4.5: Gemeldete Abwärmequellen im Energieatlas Bayern (LfU, 2024 b). Beschreibung der Abwärmequellen in Tabelle 4.9

Tabelle 4.10: Einschätzung möglicher Abwärmepotenziale bei Unternehmen, Daten der IHK (2023)

Gemeinde	Unternehmen	Branche	Potenzial-einschätzung
Königsbrunn	Langguth Chemie GmbH	Umwelt; Industrie und Produktion; Forschung und Technologie	Möglich
Schwabmün-chen	RAPIS - Ziegel Schmid GmbH & Co. KG	H.v. Ziegeln u. sonstiger Baukeramik (23320)	Wahrscheinlich
Untermeitingen	IKUSTO GmbH Kunststoff- spritz-guss u. Stahlfor-menbau	H.v. sonstigen Kunststoffwaren (2229) GH m. Kunststoffen (467600)	Möglich
Wehringen	Interquell GmbH	H.v. Futtermitteln (109)	Wahrscheinlich
Königsbrunn	Pharmpur GmbH	H.v. pharmazeutischen Grundstoffen (211) GH m. pharmazeutischen, medizini-schen u. orthopädischen Erzeugnis (4646) Erbringung sonstiger wirtschaftlicher Dienstleistungen f. Unternehmen (8299)	Möglich
Schwabmün-chen	Ritter GmbH	H.v. Kunststoffwaren (222) H.v. Werkzeugen (2573)	Wahrscheinlich
Schwabmün-chen	DITTRICH + CO GmbH	H.v. Kunststoffwaren (222) Werkzeug- u. Formenbau im Kunst-stoffbereich (257350)	Möglich
Großaitingen	Meika Tierernäh-rung GmbH	H.v. Futtermitteln (109) GH m. Getreide, Saatgut u. Futtermit-teln (462100)"	Wahrscheinlich
Schwabmün-chen	OSRAM GmbH	H.v. sonstigen anorganischen Grund-stoffen u. Chemikalien (2013)	Wahrscheinlich
Untermeitingen	ASP Dichtstoffe GmbH	H.v. sonst. chemischen Erzeugnissen (20590) GH m. chemischen Erzeugnissen (4675)"	Möglich
Bobingen	VÖWA GmbH	H.v. sonstigen Kunststoffwaren (2229)"	Möglich
Bobingen	iwb - Industriepark Werk Bobingen	H.v. Chemiefasern (2060)	Wahrscheinlich
Igling	b a b i c Bayerische Bitumen-Chemie GmbH	H.v. sonstigen Erzeugnissen aus nichtmetallischen Mineralien (23990) H.v. sonstigen chemischen Erzeug-nissen (20590)	Möglich
Bobingen	Polywert GmbH	Verarbeitung von Produkten aus Che-miefasern	Möglich
Langerringen	Malzeurop Deutsch-land GmbH	H.v. Malz (1106)	Wahrscheinlich

4.8 Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK)

KWK-Anlagen stellen eine Möglichkeit zur zeitgleichen Erzeugung von Strom und Wärme dar. Eine möglichst vollständige Nutzung der Wärme ist hierbei Voraussetzung zum Erreichen hoher Gesamtnutzungsgrade.

Das Wärmetemperaturniveau der Wärmebereitstellung durch BHKW-Anlagen liegt bei 50-100 °C. Eine Bereitstellung von Prozesswärme ist deshalb nur in begrenztem Umfang möglich. BHKW-Anlagen finden insbesondere Anwendung in der Heizwärmebereitstellung. Im Vergleich mit regenerativen Heizsystemen wie Wärmepumpen oder Pelletheizungen sind KWK-Anlagen in Bezug auf Treibhausgaseinsparungen nur konkurrenzfähig, wenn sie mit erneuerbaren Brennstoffen betrieben werden, z. B. Biogas, Bio-Erdgas oder grünem Wasserstoff. Die Energiepotenziale von Biogas sind in Abschnitt 4.5 beschrieben und im Energieszenario in Kapitel 6 berücksichtigt. Die Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Wasserstoff für den Einsatz in BHKW ist zukünftig zu klären.

KWK-Anlagen können grundsätzlich in jeder Liegenschaft eingesetzt werden. Aus Effizienzgründen sollte der Wärmebedarf der Liegenschaft deutlich höher liegen als der Strombedarf. Ein wärmegeführter Betrieb der KWK-Anlage stellt dann einen größtmöglichen Gesamtnutzungsgrad sicher. KWK-Anlagen kommen deshalb insbesondere in großen Liegenschaften mit hohen Strom- und Wärmeverbräuchen zum Einsatz. Diese Liegenschaften sind allerdings als Keimzellen und Anker-Kunden für den Aufbau von zentralen Wärmeversorgungsstrukturen ebenfalls von großer Bedeutung. Die Umsetzung von KWK-Anlagen in einzelnen Liegenschaften schwächt somit die Umsetzungswahrscheinlichkeiten für Wärmenetze. Auf eine Ausweisung punktueller Umsetzungspotenziale wird deshalb an dieser Stelle verzichtet. Mit erneuerbaren Energien betriebene KWK-Anlagen sind Bestandteil der Wärmeversorgung in den bestehenden Wärmenetzen. Der Einsatz zusätzlicher Anlagen kann im Zuge des Auf- und Ausbaus der Wärmenetzinfrastruktur punktuell geprüft werden.

4.9 Oberflächennahe Geothermie

4.9.1 Räumliche Eingrenzung der verfügbaren Techniken

Die Kartenansicht in Abbildung 4.6 gibt Auskunft über die Nutzbarkeit unterschiedlicher technischer Versorgungssysteme auf Basis von oberflächennaher Wärme.

- Die Nutzung von Erdwärmekollektoren ist im gesamten Betrachtungsraum möglich, mit Ausnahme der Gewässer und Wasserschutzgebiete (siehe rote und blaue Flächen in Abbildung 4.6).
- Die Nutzung von Erdwärmesonden ist in den Siedlungsgebieten der Gemeinden Obermeitingen, Hurlach, Igling, Lamerdingen und Amberg möglich. In den anderen Gemeinden sind Siedlungsgebiete überwiegend nicht für Erdwärmesonden geeignet.
- Grundwasserwärmepumpen sind im gesamten Betrachtungsraum möglich, mit Ausnahme der Gewässer- und Wasserschutzgebiete und kleinerer Flächen in den Gemeinden Igling, Lamerdingen, Langerringen, Hiltenfingen, Schwabmünchen, Großaitingen und Wehringen.

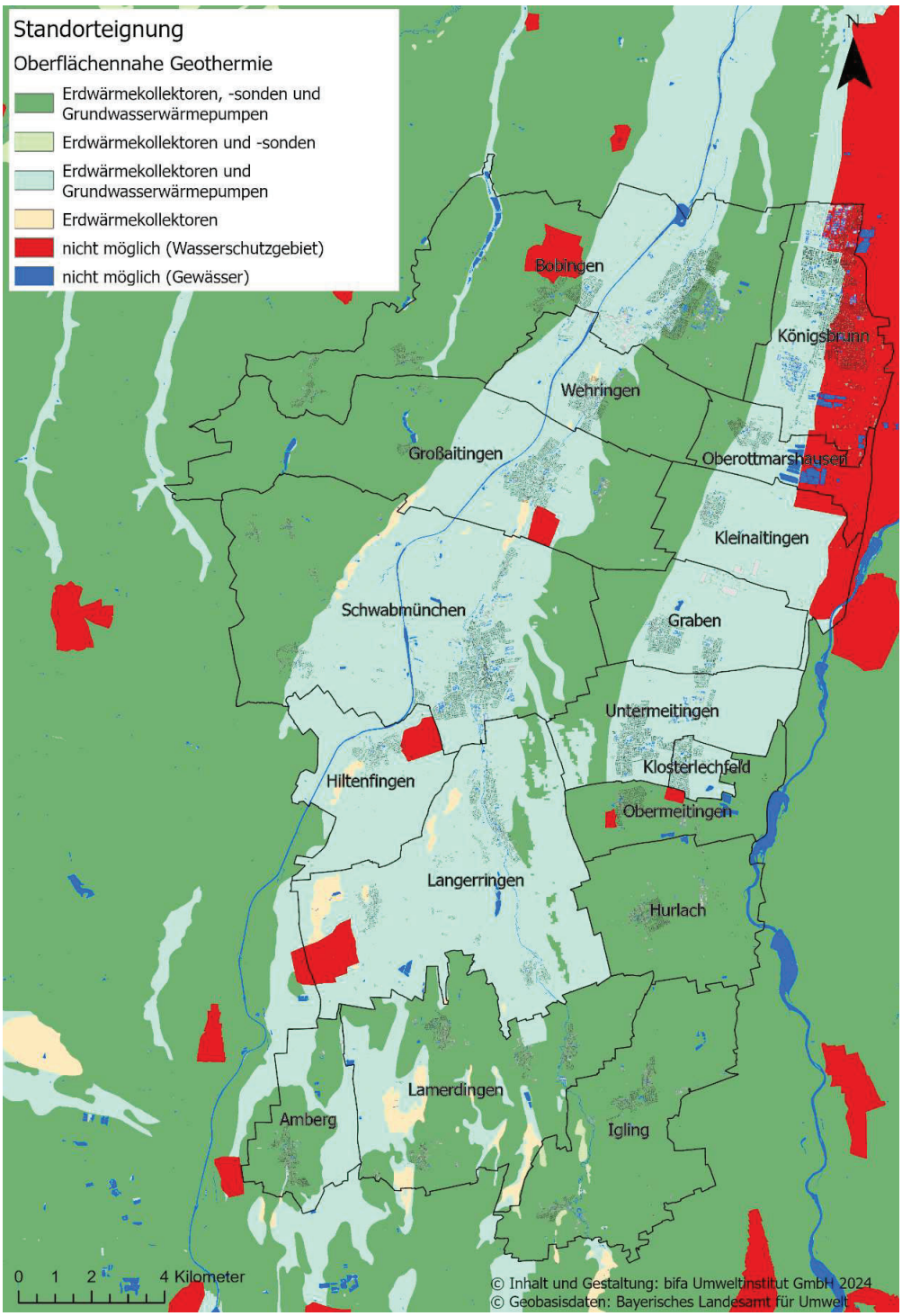


Abbildung 4.6: Eignungsgebiete für die Nutzung unterschiedlicher oberflächennaher Geothermiesysteme

4.9.2 Quantitative Potenzialermittlung

Das Potenzial für Umweltwärme wurde unterteilt: Bei der Nutzung oberflächennaher Geothermie in Gebäuden mit Flächenheizungen können Wärmepumpen besonders effizient betrieben

werden. Flächenheizungen wurden vermehrt in Gebäuden nach 1980 verbaut; dies wurde als Trennkriterium herangezogen. Prinzipiell können jegliche Gebäude durch Wärmepumpen versorgt werden, unabhängig von ihrem Baualter und der Verfügbarkeit oberflächennaher Geothermie, etwa durch Luft-Wasser-Wärmepumpen. Die Anlagen arbeiten dabei mit niedrigeren Jahresarbeitszahlen und erzeugen höhere Strombedarfe.

Der Bestand von Wärmepumpen wurde aus den geförderten Anlagen der BAFA – rund 15 % der Anlagen sind gefördert – und den Verbrauchsdaten der Energieversorger abgeleitet.

Das in Tabelle 4.11 angegebene Potenzial umfasst Gebäude, die nach 1980 gebaut wurden und die in einem Eignungsgebiet zur Nutzung oberflächennaher Geothermie liegen (siehe Abschnitt 4.9.1).

Tabelle 4.11: Bestand an Wärmepumpen und Gesamtpotenzial für Gebäude mit Baujahr nach 1980 und Standort in einem Eignungsgebiet für oberflächennahe Geothermie

	Anzahl Gebäude	**Wärmemenge** in MWh/a
Bestand	3.739	36.187
Gesamtpotenzial	8.230	226.840

4.10 Tiefe Geothermie

Das größte Potenzial für eine hydrothermale Wärmegewinnung liegt in Bayern im Malm des süddeutschen Molassebeckens.

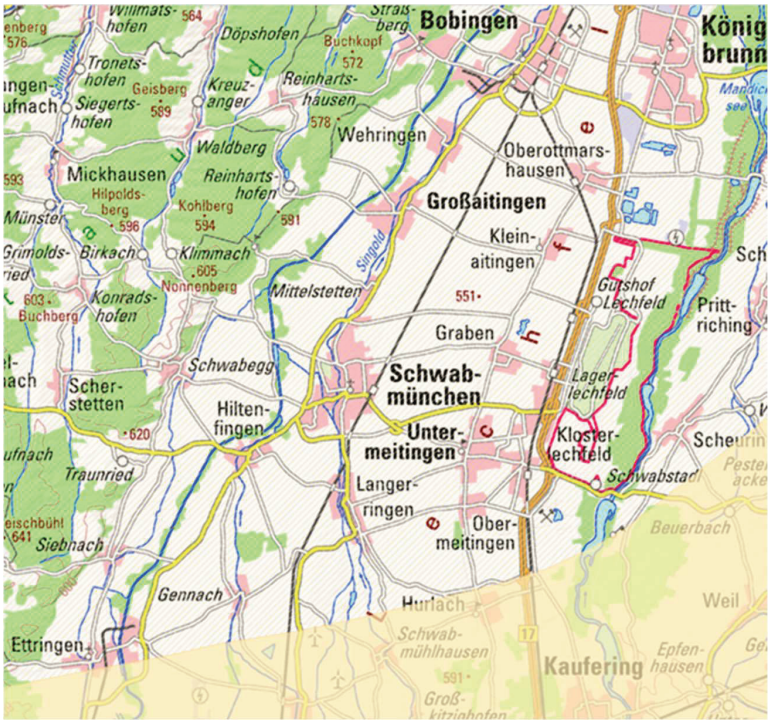


Abbildung 4.7: Eignungsgebiete für hydrothermale Wärmegewinnung (LfU, 2024 b)
Günstige geologische Verhältnisse für hydrothermale Wärmegewinnung
Weniger günstige Verhältnisse für hydrothermale Wärmegewinnung (i.d.R. zusätzlicher Wärmepumpeneinsatz erforderlich)

In Abbildung *4.7* sind die Gebiete mit günstigen geologischen Verhältnissen zur hydrogeothermalen Wärmegewinnung gelb markiert. Die südlichen Gemeinden des Betrachtungsraumes liegen innerhalb dieses Gebietes. Im Betrachtungsgebiet gibt es keine aktiven Tiefengeothermieanlagen. Ein Teil der betrachteten Gemeinden befindet sich außerdem innerhalb eines Konzessionsgebietes für die Aufsuchung tiefer Geothermie (in Abbildung 4.8 blau markiert) sowie eines Konzessionsgebietes für die Förderung von Kohlenwasserstoffen (in Abbildung 4.8 gelb markiert).

- Lechfeld, Feldnummer 400163: Bergbauerlaubnis für Geothermie gewerblich erteilt
- Großaitingen, Feldnummer 400085: Bergbaubewilligung für Kohlenwasserstoffe erteilt
- Großaitingen II, Feldnummer 202159: Bergbaubewilligung für Kohlenwasserstoffe erteilt

Nach § 7 des Bundesbergbaugesetzes besteht die Möglichkeit, eine zusätzliche Erlaubnis zur großflächigen Aufsuchung für dieses Gebiet zu beantragen. Des Weiteren sind vorhandene Bohrungen zur Förderung von Kohlenwasserstoffen ebenfalls als potenzielle Förderquellen für Tiefengeothermie anzusehen. Dahingehend prüft die Firma Oneo GmbH & Co. KG bereits eine Möglichkeit zur Nachnutzung der vorhandenen Ölbohrungen zur Gewinnung von Erdwärme für die Förderstätten in Aitingen.

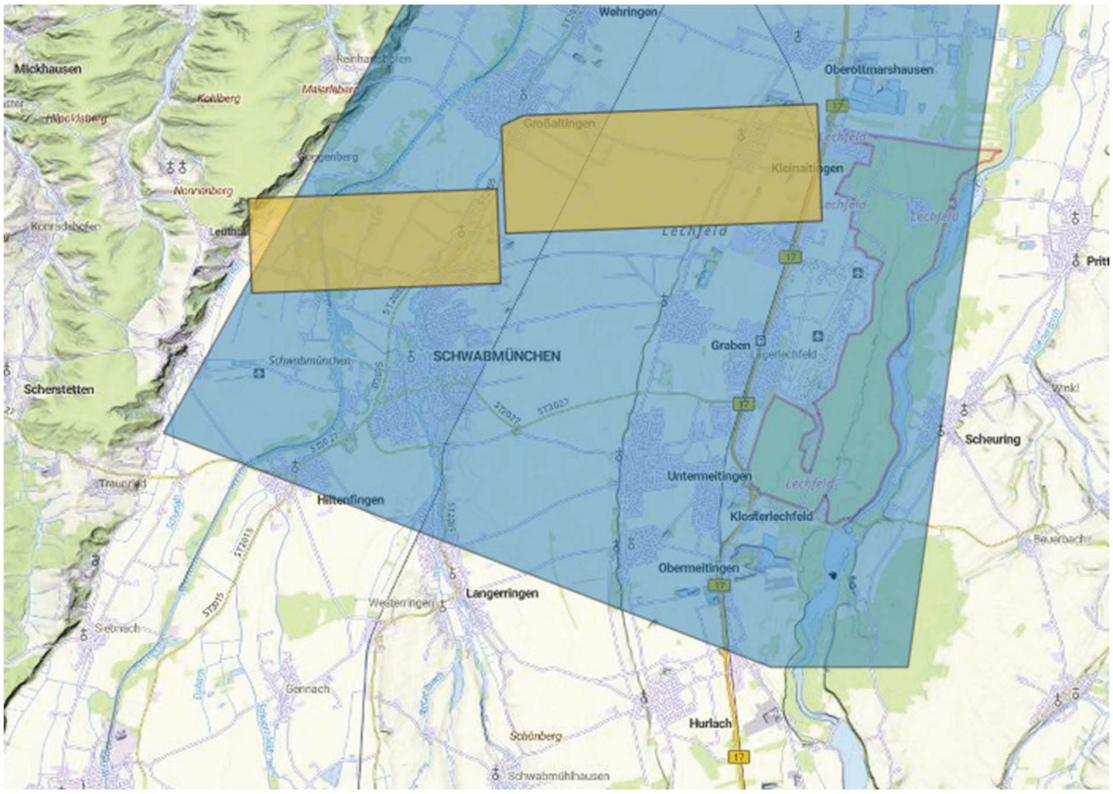


Abbildung 4.8*:* *Gebiet mit erteilter Erlaubnis zur Aufsuchung nach Tiefengeothermie (Rohdatenquelle: StMWi 2024)*

Abbildung *4.9* zeigt das Betrachtungsgebiet und gibt die im Aquifer zu erwartenden Temperaturen an. Potenzielle Standorte für Tiefengeothermieanlagen liegen vor allem südlich des vorhandenen Konzessionsgebietes. Der Aquifer erreicht dort Temperaturen von bis zu 90 °C in einer Tiefe von 1.800 m unter NN. Die nächstgelegene aktive Tiefengeothermieanlage befindet

sich in Bad Wörishofen. 2005 wurde dort eine zweite Bohrung mit einer Endteufe von 2.600 m durchgeführt. Der Förderstrom betrug 5 l/s. Am Bohrlochkopf wurde eine Temperatur von 84 °C erreicht. Aufgrund der hydrochemischen Beschaffenheit des Thermalwassers war eine Verwendung für die Therme jedoch nicht möglich. Die Bohrung wurde 2021 dauerhaft stillgelegt und verfüllt (Erdwerk 2024). Die veröffentlichten Daten unterstreichen das Potenzial der hydrothermalen Geothermie in dieser Region.

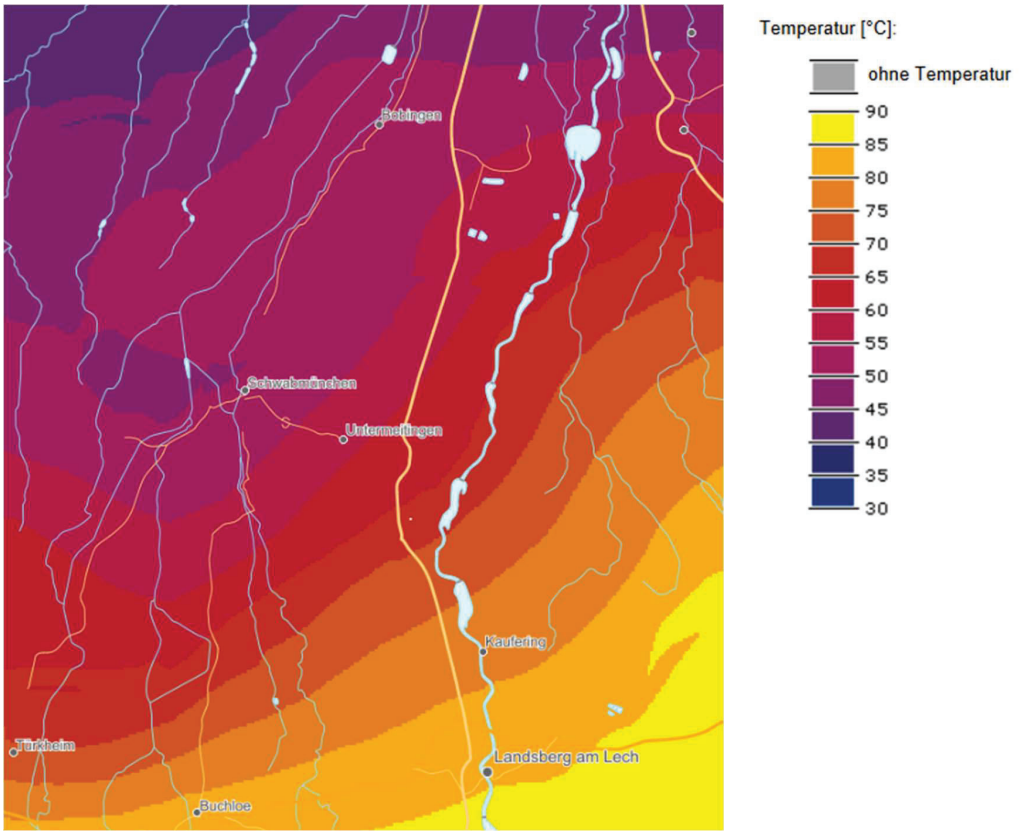


Abbildung 4.9: Horizontalschnitt durch das Lechtal und zu erwartende Temperaturverteilung im Malm (GeotIS, 2024)

5 Potenziale zur Energieeinsparung

Einsparung ist ein wesentlicher Ansatz, um den Primärenergieeinsatz und damit laufende Energiekosten zu reduzieren. Sie dämpft auch das Problem begrenzt verfügbarer regenerativer Energiequellen ab.

5.1 Stromeinsparung in privaten Haushalten

Abbildung 5.1 zeigt die typische Struktur des Stromverbrauchs in privaten Haushalten. Daraus erschließen sich Ansatzpunkte zur Senkung des Stromverbrauchs. Neben der Anpassung des Nutzerverhaltens – beispielsweise bedarfsorientiertes Einschalten von Elektrogeräten oder natürliche Wäschetrocknung – liegt das Potenzial vor allem in der Nutzung effizienter Elektrogeräte und Beleuchtungsmittel. Indes ist durch die fortschreitende Digitalisierung eine steigende Anzahl an Elektrogeräten zu erwarten.

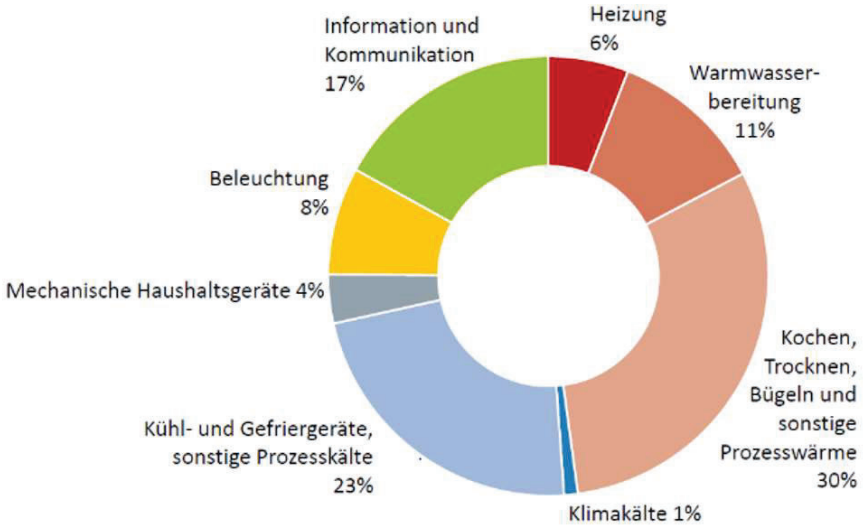


Abbildung 5.1: Struktur des Stromverbrauchs von Haushalten nach Anwendungsbereichen im Jahr 2020 (BDEW, 2023)

Studien zeigen, dass auch durch die Einführung digitaler Anwendungen in der Breite keine nennenswerten Stromeinsparungen zu erwarten sind (beispielsweise IÖW, 2023). Ob zukünftig deshalb mit einem weiteren Anstieg oder einer Verringerung des Stromverbrauchs gerechnet werden muss, ist derzeit nicht abzusehen. In Zielszenario und Transformationspfad in den Abschnitten 6.3 und 6.4 wird von einem Anstieg des Haushaltsstromverbrauchs (ohne Wärmepumpenstrom und Elektromobilität) um 15 % im Zieljahr 2040 ausgegangen.

5.2 Wärmeeinsparung durch Sanierung

Nach Maßgabe der Bundesregierung ist der Primärenergieverbrauch im Gebäudesektor bis 2030 um 37 % zu senken (BMWK, 2022). Bezugspunkt ist der Bedarf des Jahres 2008. Dafür muss die Sanierungsquote von bundesweit derzeit 0,8 % deutlich erhöht werden.

5.2.1 Wohngebäude

Grundlegende Zusammenhänge zwischen Sanierungsrate und Wärmebedarf in zeitlicher Entwicklung zeigt Abbildung 5.2. Als Sanierungsziel wurde hier für Gebäude bis Baujahr 2000 ein ambitionierter KfW-55-Standard hinterlegt, für neuere Gebäude ein KfW-40-Baustandard. Die Berechnung erfolgt über mittlere flächenbezogene Bedarfskennwerte.

Eine Verdoppelung der Sanierungsrate vom bisherigen Wert von 0,8 % auf 1,6 % führt bis zum Jahr 2050 zu Einsparungen beim Wärmebedarf von 36 %. Dann sind allerdings erst 48 % aller Wohngebäude saniert. Dies zeigt: Sanierung leistet einen wichtigen Beitrag zur Energieeinsparung. Um die in den nächsten Jahren notwendigen Treibhausgaseinsparungen bis hin zur Treibhausgasneutralität zu erzielen, ist jedoch darüber hinaus ein Wechsel auf erneuerbare Energiequellen unumgänglich.

In aller Regel sind unter Beachtung der Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen Sanierungen einem Abriss und Neubau vorzuziehen. Ein wesentlicher Grund hierfür sind die hohen Treibhausgasemissionen der Zementherstellung. Im Einzelfall kann Abriss und Neubau erwogen werden, etwa für Geschosswohnungsbauten der Jahre 1950-1970 mit schlechter Bausubstanz, sofern sie nicht dem Denkmalschutz unterliegen. Abbildung 5.3 zeigt, dass ein Großteil der Gebäude im Betrachtungsraum in diesem Zeitraum erbaut wurde.

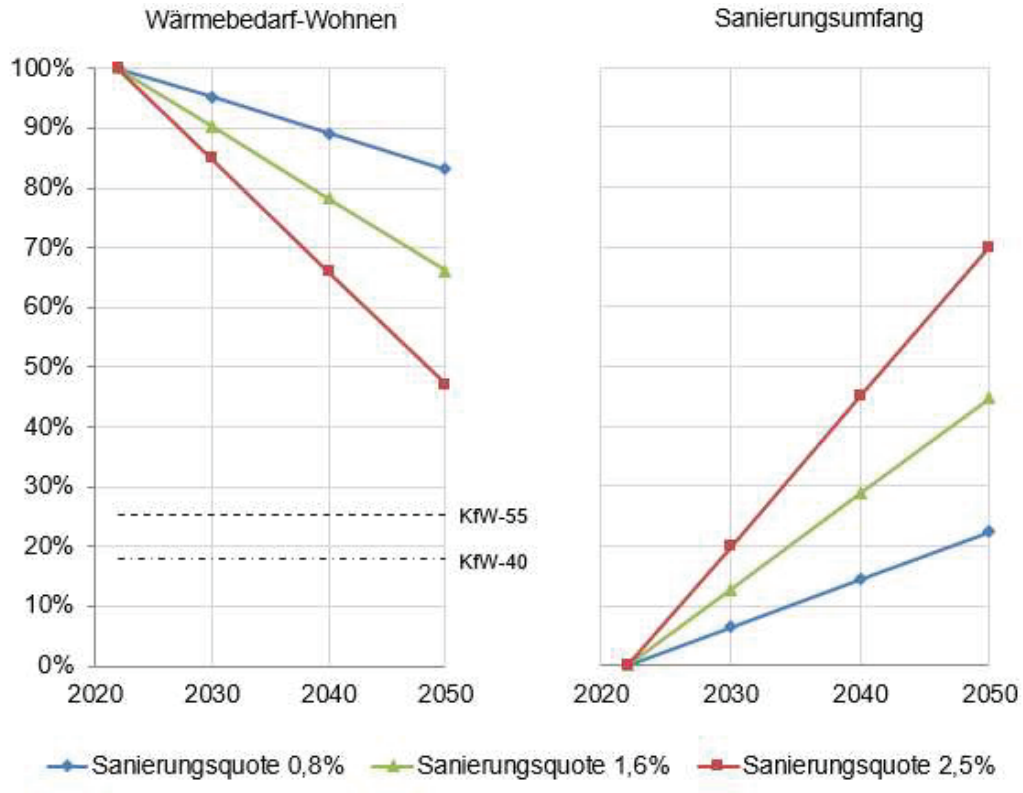


Abbildung 5.2: Auswirkungen unterschiedlicher Sanierungsraten (natürlich=0,8 %) auf die Einsparung von Wärme (links) und den Anteil sanierter Gebäude (rechts)

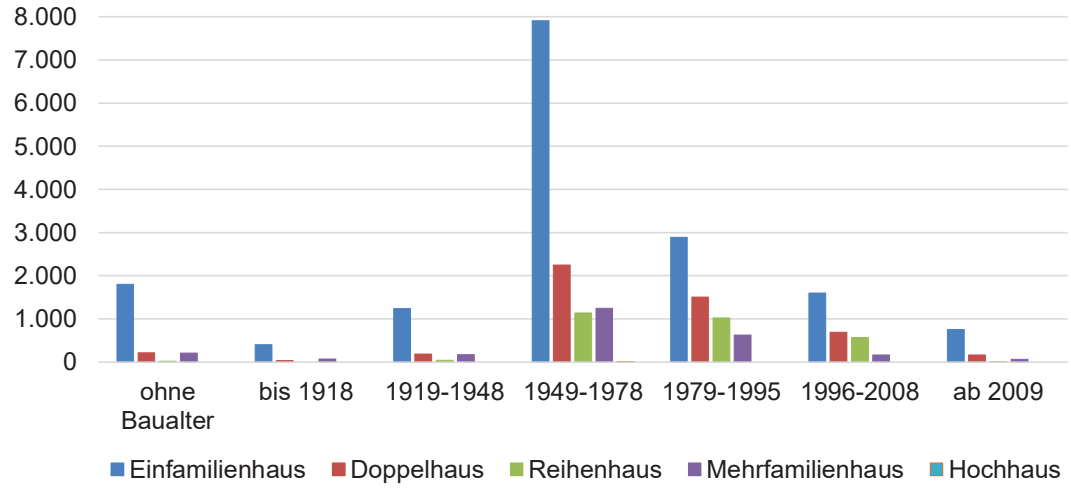


Abbildung 5.3: Baualtersverteilung der Wohngebäude im Betrachtungsraum nach ZENSUS 2011

5.2.2 Kommunale Liegenschaften

Wärmeeinsparungen in kommunalen Liegenschaften sind in Teilen durch Optimierung der Gebäudeleittechnik und Nutzersensibilisierung zu erreichen. Die wesentlichen Einsparpotenziale liegen jedoch – wie in Wohngebäuden auch – in der energetischen Gebäudesanierung.

Abbildung 6.2 im Folgekapitel zeigt nur einen geringen Anteil kommunaler Liegenschaften am Gesamtwärmeverbrauch im Betrachtungsraum. Dennoch sollten diese Einsparpotenziale konsequent gehoben werden. Zum einen liegen sie im direkten Einflussbereich der Gemeinden, zum anderen haben die Verwaltungen Vorbildfunktion im Klimaschutz.

Abbildung 5.4 skizziert den sinkenden Energieverbrauch aller kommunaler Liegenschaften bei ambitionierten Einsparerfolgen von 2,0 % pro Jahr.

Konkrete Ansätze finden sich in den Maßnahmenempfehlungen in Abschnitt 8.4.

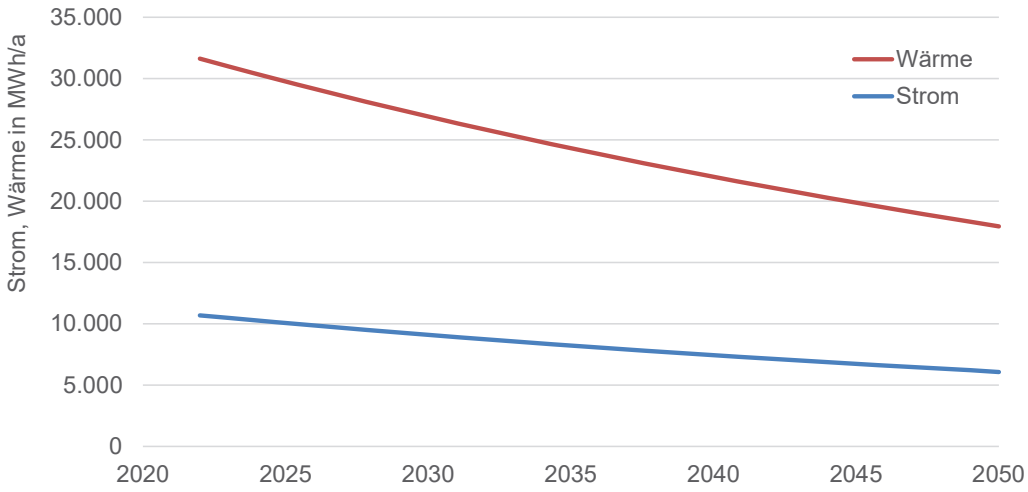


Abbildung 5.4: Entwicklung des Energiebedarfs aller kommunaler Liegenschaften im Betrachtungsraum bei einem jährlichen Einsparerfolg von 2,0 %

5.3 Gewerbe und Industrie

Um Energieeinsparungen im Gewerbe zu prognostizieren, wurde in Anlehnung an die EU-Effizienzrichtlinie eine pauschale Reduktion des Verbrauchs an Wärme und Strom um jeweils 1,5 % pro Jahr angesetzt. Dahinter stehen stetige Anstrengungen beispielsweise in den Bereichen Wärmerückgewinnung, Drucklufttechnik, Abwärmenutzung, Lastmanagement, Beleuchtung und Dampferzeugung.

Innerhalb von 10 Jahren sollen somit 14 % und bis 2050 35 % einzusparen sein. Die Ergebnisse für die Energiebedarfe sind in Abbildung 5.5 dargestellt.

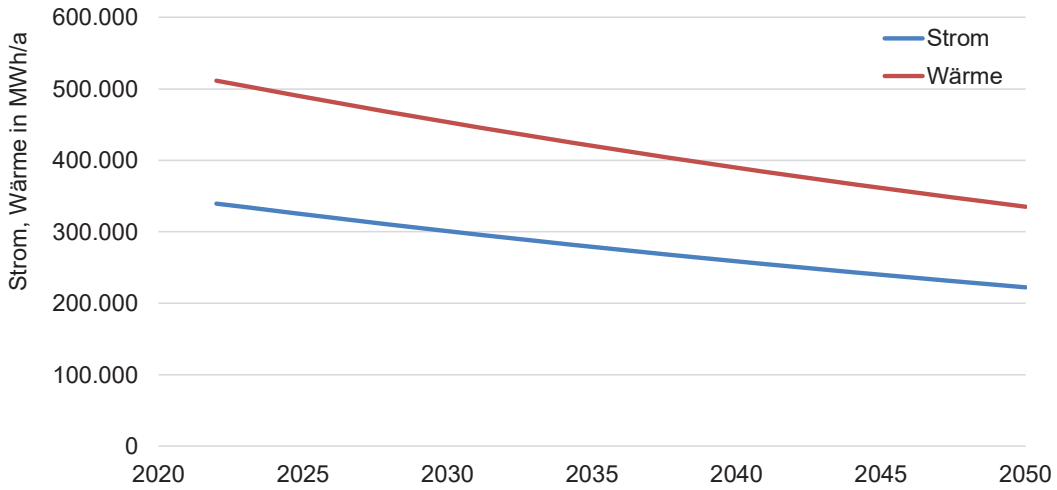


Abbildung 5.5: Entwicklung des Energiebedarfs von Gewerbe und Industrie bei jährlichem Einsparerfolg von 1,5 %

6 Zielszenario, Entwicklungspfade und Transformationsstrategie

6.1 Stromsektor

6.1.1 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und regenerativer Stromerzeugung in Bestand und Potenzial

In Abbildung 6.1 sind für den Sektor Strom der Bestand an erneuerbaren Energieerzeugung, deren Potenzial sowie der Ist-Verbrauch gegenübergestellt. Etwa 79 % des Stromverbrauchs im Betrachtungsraum wird vor Ort regenerativ erzeugt. Die bedeutendsten Ausbaupotenziale für regenerativen Strom bieten Windkraft und Photovoltaik, insbesondere PV-Freiflächenanlagen.

Das Ziel der Treibhausgasneutralität erfordert eine Defossilisierung in allen Sektoren und Wirtschaftszweigen. Diese wird in vielen Fällen mit einer Elektrifizierung der Prozesse und Anlagen einhergehen. Die Ausweitung der Elektromobilität, die Bereitstellung von Wohn- und Prozesswärme aus elektrischer Energie und die fortschreitende Digitalisierung lassen einen Anstieg des Stromverbrauchs um das 1,2- bis 2,7-fache erwarten (Gierkink, 2022).

Der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung sollte deshalb über alle Potenzialarten zügig vorangebracht werden. Dies erhöht die Versorgung mit regenerativem Strom vor Ort wie auch in der Umgebung. Insbesondere die Windkraftpotenziale können eine Erhöhung der zeitgleichen Strombedarfsdeckung erreichen (siehe Abschnitt 7.2.1).

Der weitere Ausbau der Photovoltaik sollte um sinnvolle Speicherkonzepte und Sektorenkopplungslösungen ergänzt werden.

Wasserkraft, Windkraft und Biogasanlagen können die bedarfsgerechte Strombereitstellung unterstützen. Durch eine weitere Flexibilisierung der Biogasanlagen kann der Strom bedarfsgerecht in Zeiten erzeugt werden, in denen die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen gering ist. Wasserkraftanlagen können in Dauerbetrieb Grundlastverbräuche im Stromnetz bedienen, und das Erzeugungsprofil von Windkraftanlagen zeigt die größten Erträge in den Übergangs- und Wintermonaten (siehe Abschnitt 7.2.1).

Gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) ist ein 80%iger Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung bis 2030 deutschlandweites Ziel. Das Verhältnis der lokalen regenerativen Stromerzeugung zum Stromverbrauch liegt im Betrachtungsraum bei 79 %. Hierzu ist anzumerken:

- Der Stromverbrauch wird zukünftig durch Elektromobilität, Wärmepumpen und Elektrifizierung in Gewerbe und Industrie steigen. Verschiedene Studien erwarten bis 2045 einen Anstieg um einen Faktor von 1,2 bis 2,7 (Gierkink, 2022).
- Ländliche Regionen können und müssen in höherem Maße zur erneuerbaren Energieversorgung beitragen als Städte und Metropolen, deren Potenziale stärker limitiert sind.
- Die Darstellung ist jahresbilanziell. Wird PV- oder Windstrom nicht gespeichert, ist der Deckungsgrad in zeitgleicher Betrachtung wesentlich niedriger.
- Neben einer Abdeckung des Strombedarfs dienen Erneuerbare-Energie-Anlagen der lokalen Wertschöpfung, je nach Gesellschaftsform und Beteiligungsoptionen als ökologische Geldanlagemöglichkeit sowie als Vorbild- und Vorzeigeprojekte.

Argumente zur Priorisierung innerhalb der Potenzialarten liegen im Beitrag zur zeitgleichen Verbrauchsdeckung (s. Abschnitt 7.2.1), im Flächenbedarf, bei den Kosten, der Raumplanung, der Akzeptanz und der Umsetzbarkeit.

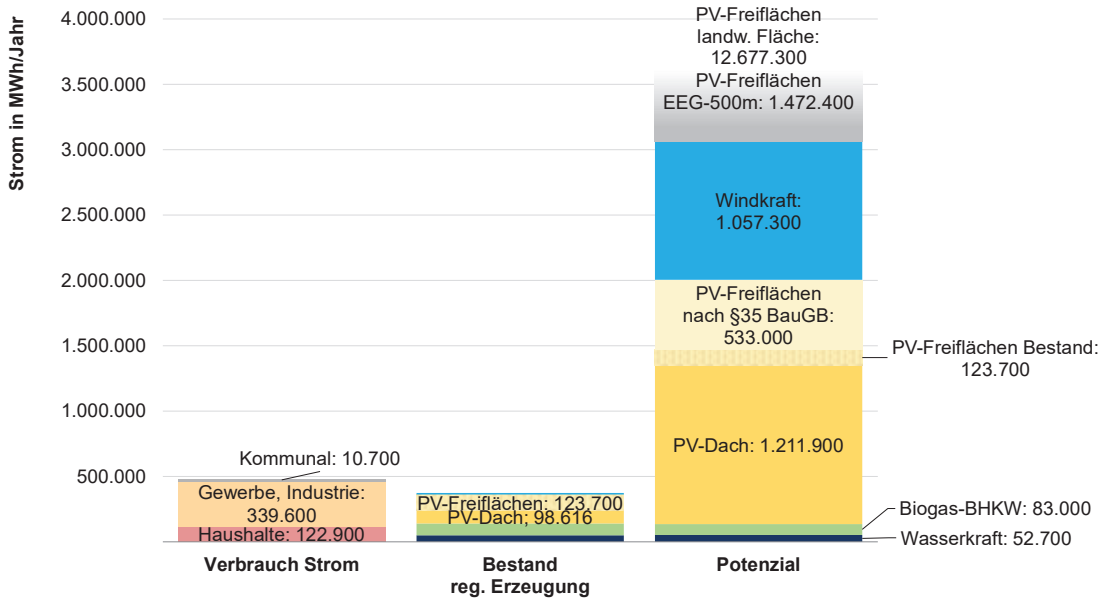


Abbildung 6.1: Stromverbrauch, lokale regenerative Stromerzeugung in Bestand und Potenzial. Die technischen Potenziale von PV-Freiflächenanlagen übersteigen die Achsenskalierung und sind in auslaufender Färbung dargestellt. (Datenstand: 2022)

6.1.2 Folgerungen zum Ausbau

Der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung sollte über alle Potenzialarten zügig vorangebracht werden. Das Ziel der Treibhausgasneutralität erfordert eine Umstellung auf erneuerbare Energien in allen Sektoren und Wirtschaftszweigen.

- Große Ausbaupotenziale für regenerativen Strom bietet die Photovoltaik, sowohl Dach- als auch Freiflächenanlagen.
- Große Potenziale bestehen auch im Ausbau der Windkraft. Die Änderung der Bayerischen Bauordnung im November 2022 und die Vorgaben des Wind-an-Land-Gesetzes (WindBG 2023) erleichtern die Errichtung neuer Windkraftanlagen in den nächsten Jahren.
- Bei Biogasanlagen sollte der Fokus auf der Flexibilisierung der Stromerzeugung liegen.

Dabei sind Windkraftanlagen und Biogasanlagen aufgrund ihres Erzeugungsprofils im Vergleich zu PV-Anlagen deutlich besser dazu geeignet, die tatsächliche zeitgleiche Verbrauchsdeckung durch erneuerbaren Strom im Betrachtungsraum zu erhöhen.

6.2 Wärmesektor

6.2.1 Gegenüberstellung von Wärmebedarf und regenerativer Wärmeerzeugung in Bestand und Potenzial

In Abbildung 6.2 sind der Wärmebedarf, die regenerative Wärmeerzeugung und lokale Potenziale zur regenerativen Wärmeerzeugung nach Arten und Energiemengen verglichen.

Der Anteil der regenerativen Wärmeerzeugung am Gesamtwärmebedarf liegt bei 14 %. Das Potenzial für Holzfeuerung beinhaltet die Nutzung von Holz aus Wäldern und Kurzumtriebsplantagen. Die Wärmeerzeugung aus Holz im Bestand übersteigt die ermittelten Potenziale um knapp 50 %. Dies kann folgende Gründe haben:

- Der jährliche Holzzuwachs im Betrachtungsraum wird zu mehr als 30 % als Energieholz und zu geringeren Anteilen stofflich verwertet.
- Brennholz wird von außerhalb des Betrachtungsraums bezogen.
- Den Waldflächen im Betrachtungsraum wurden im Jahr der Bilanzierung mehr als der statistisch übliche jährliche Holzzuwachs entnommen.
- Die im Betrachtungsraum installierten Holzheizungen werden weniger stark genutzt als für die Energiebilanz angenommen.

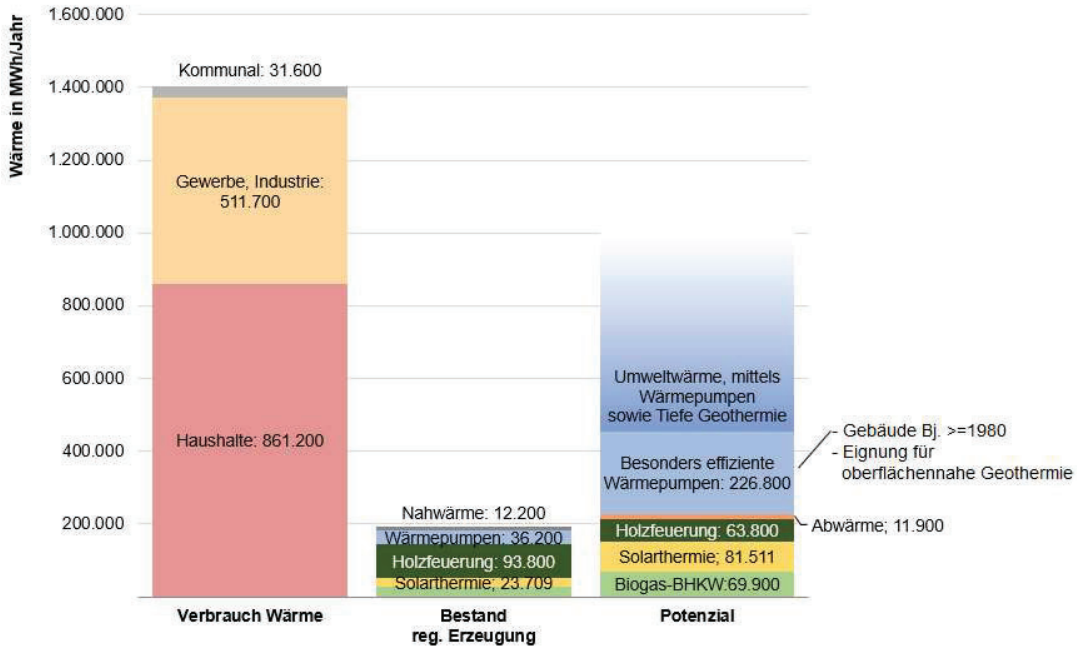


Abbildung 6.2: Wärmeverbrauch sowie lokale regenerative Wärmeerzeugung in Bestand und Potenzial (Datenstand: 2022)

Das Potenzial von Umweltwärme ist unterteilt in „besonders effiziente Wärmepumpen“ und „Umweltwärme, andere Wärmepumpen“ (vgl. Abschnitt 4.9.2). Da Wärmepumpen prinzipiell für alle Gebäude einsatzbar sind, ist das Potenzial „Umweltwärme, mittels Wärmepumpen“ nach oben offen dargestellt und mit dem Potenzial für Tiefe Geothermie zusammengefasst, das nicht quantifiziert werden kann und dabei prinzipiell sehr hoch ist (vgl. Abschnitt 4.10).

6.2.2 Folgerungen zum Ausbau

Derzeit werden 14 % des Wärmeverbrauchs aller Abnehmer regenerativ gedeckt. Durch die vollständige Nutzung der Wärmeerzeugungspotenziale aus Biogasanlagen, Solarthermie, Abwärme und fester Biomasse kann, bezogen auf den heutigen Gesamtwärmeverbrauch, ein maximaler Deckungsanteil von 16 % erreicht werden. Nur bezogen auf den Wärmeverbrauch privater Haushalte und kommunaler Liegenschaften wäre eine Bedarfsdeckung von 25 % möglich.

Wärmenetze bieten gute Möglichkeiten zur Einbindung und Nutzung regenerativer Energieträger. Solarthermieanlagen können zeitweise – insbesondere in den Sommermonaten – merkliche Wärmemengen bereitstellen, die in Tagesspeichern gut speicherbar sind. Grundwasserleiter, Erdsonden und Erdkollektoren, Oberflächengewässer und Tiefenwärme sind teilweise aufgrund hoher Kosten, geringer Flächenverfügbarkeit oder verweigerter wasserrechtlicher Genehmigungen für ein Einzelobjekt nicht zu erschließen. Bei einer gemeinschaftlichen Versorgung mehrerer Objekte über ein Wärmenetz können z. B. hohe Kosten auf viele Abnehmer verteilt und Anlagenstandorte auf verfügbare Flächenbereiche verlegt werden. Auch lokal vorhandene Abwärmequellen (siehe Abschnitt 4.7) lassen sich gut in Wärmenetzen integrieren.

Konkrete Handlungsempfehlungen zum Aufbau und dem weiteren Ausbau von Wärmenetzen wurden für den Betrachtungsraum entwickelt (s. Abschnitte 7.5, 8.1 und 8.7).

Für Gebäude, für die eine Wärmenetz-Versorgung in den nächsten Jahren oder grundsätzlich nicht in Betracht kommt, sind Einzelgebäudeheizsysteme vorzusehen. Umweltwärme kann durch Wärmepumpen sowohl zur Neubau- als auch zur Bestandsgebäudeversorgung genutzt werden. Erdwärme und Grundwasserwärme sind hierbei aus Effizienz- und Lärmemissionsgründen der Luftwärme vorzuziehen. Wärmepumpensysteme können häufig sinnvoll durch PV-Anlagen ergänzt werden. Die Nutzung von Solarthermieanlagen zur Brauchwasserbereitung oder Heizungsunterstützung kann eine weitere Alternative oder Ergänzung darstellen.

In der Industrie wird die Wärme häufig als Prozesswärme mit Temperaturen über 100 °C benötigt. Für die Wärmebereitstellung können hier zukünftig Hochtemperaturwärmepumpen oder Power-to-Heat-Module geprüft werden. Auch grüne Gase wie Biomethan oder grüner Wasserstoff kommen zukünftig in Betracht. Eine theoretische Grenzbetrachtung zeigt: Würde das verfügbare Biogaspotenzial vollständig zu Biomethan aufbereitet und zur Wärmeversorgung eingesetzt, könnten damit gut 15 % des Wärmebedarfs im Betrachtungsraum gedeckt werden. Die Biogasanlagen würden dann allerdings nicht mehr zur flexiblen Stromerzeugung zur Verfügung stehen.

6.2.3 Verbrauchsreduzierung

Neben der stärkeren Nutzung der erneuerbaren Wärmepotenziale (rechte Säule in Abbildung 6.2) ist eine Reduktion des Verbrauchs anzustreben (linke Säule), s. Kapitel 5.2. Unabhängig von der Wahl des Versorgungssystems senkt eine ambitionierte energetische Sanierung dauerhaft die Energiebedarfe und den Aufwand zur Versorgung der Gebäude. Auch im Neubaustandard sollten möglichst niedrige Verbrauchswerte angestrebt werden. Neubauten mit hohen Energiestandards und regenerativen Eigenerzeugungsanlagen sind in ihren Betriebskosten günstiger als fossil gestützte Versorgungslösungen.

6.3 Zielszenario und Treibhausgas-Reduktionspfad

Das Klimaschutzziel der Gemeinden im Betrachtungsraum orientiert sich am Ziel des Bayerischen Klimaschutzgesetzes (BayKSG) und ist die Treibhausgasneutralität im Jahr 2040. Für

das Jahr 2030 wird als Etappenziel eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 55 % gegenüber 2022 angestrebt. Abbildung 6.3 zeigt Grundlagen für die Wahl dieses Etappenziels:

- Das Bundes-Klimaschutzgesetz 2024 definiert in Anlage 2a (zu § 5) einen Reduktionspfad für den Gebäudesektor mit einem Zwischenziel für das Jahr 2030 von 43 % Reduktion gegenüber 2020 sowie der Treibhausgasneutralität im Jahr 2045.
- Als ambitionierter, aber gleichzeitig für die Zielerreichung belastbarerer Ansatz wurde der Pfad 3 aus der Veröffentlichung „Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO_2-Budget“ des Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 2020) abgebildet. Um das Null-Ziel zu erreichen, geht dieser Pfad entsprechend dem Pareto-Prinzip davon aus, dass in den ersten Jahren eine deutliche Reduktion mit vertretbarem Aufwand erzielt werden kann. Mit weiterer Annäherung an das Zieljahr schrumpfen die erzielbaren jährlichen Reduktionserfolge.

Aus der Abwägung beider Reduktionspfade wird für den Betrachtungsraum eine Zwischenzielmarke für 2030 von 55 % Reduktion (gegenüber 2022) gesetzt.

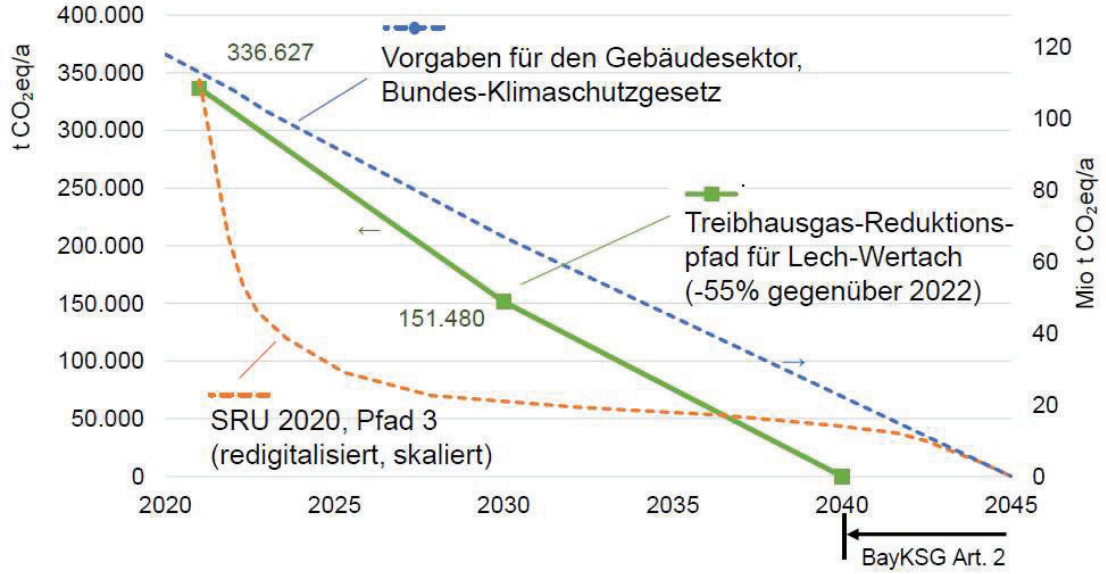


Abbildung 6.3: Ableitung eines Treibhausgas-Reduktionspfads für den Wärmesektor im Betrachtungsraum.
Die Kurve aus SRU (2020), Pfad 3, ist redigitalisiert und gegenüber der Originalabbildung skaliert zur Anpassung auf das Start- und Zieljahr sowie die y-Skalierung des Diagramms.

6.4 Entwicklungspfade

6.4.1 Strom

Durch die fortschreitende Digitalisierung sowie die Elektrifizierung in der Mobilität und Wärmeerzeugung ist zukünftig von einem Anstieg des Strombedarfs auszugehen (vgl. Abschnitt 6.1.1). Für das Zielszenario 2040 wurden folgende elektrische Mehrverbräuche angenommen:

- zunehmende Digitalisierung 71.000 MWh/a
- Elektromobilität 395.000 MWh/a
- Wärmebereitstellung 189.000 MWh/a

Der Jahresstrombedarf im Betrachtungsraum steigt somit von derzeit 473.000 MWh/a auf 1.128.000 MWh/a. Bis zum Jahr 2030 ist ein linearer Anstieg des Stromverbrauchs angenommen. Mit einem jahresbilanziellen lokalen regenerativen Stromüberschuss von 31 % im Jahr 2040 ist dem in Abschnitt 6.1.1 genannten Umstand Rechnung getragen, dass ländliche Regionen in einem höheren Maße zur erneuerbaren Energieversorgung beitragen müssen als Städte und Metropolen. Den Transformationspfad zur lokalen regenerativen Stromversorgung zeigen Tabelle 6.1 und Abbildung 6.4. Die im Transformationspfad für das Zieljahr 2040 dargestellte Verteilung der Stromerzeugung bedeutet für den Betrachtungsraum konkret:

- Nutzung des PV-Dachflächenpotenzials zu 35 % (aktuell ca. 8 %)
  Geschätztes Investitionsvolumen 2025 rund 325 Mio. €
- Stromerzeugung auf rund 410 ha PV-Freiflächenanlagen (aktuell ca. 120 ha)
  Geschätztes Investitionsvolumen 2025 rund 180 Mio. €
- Betrieb von rund 40 Windkraftanlagen mit 6 MW und 10.500 MWh/a (aktuell 2 Anlagen)
  Geschätztes Investitionsvolumen 2025 rund 225 Mio. €

Tabelle 6.1: Anteil der Energieträger im Transformationspfad Strom

	Ist (2022)	**Potenzial**	**2030**		**2040**	
Energieträger	MWh/a	MWh/a	Änderung gegenüber Ist	MWh/a	Änderung gegenüber Ist	MWh/a
PV-Dachflächen	98.612	1.211.929	+147%	243.307	+330%	424.175
PV-Freiflächen	123.729	14.930.190	+116%	267.808	+262%	447.906
Windkraft	11.447	1.057.252	+799%	102.881	+3.595%	422.901
Wasserkraft	50.698	52.730	+4%	52.730	+4%	52.730
Biogas	88.163	83.000	0%	88.163	0%	88.163
Nicht lokal regenerativ gedeckt	100.501	-	-100%	0	-100%	0
Summe Erzeugung (regenerativ)	372.649	-	+103%	754.888	+285%	1.435.875
Strombedarf (Prognose)	473.150	-	+58%	749.041	+131%	1.093.904

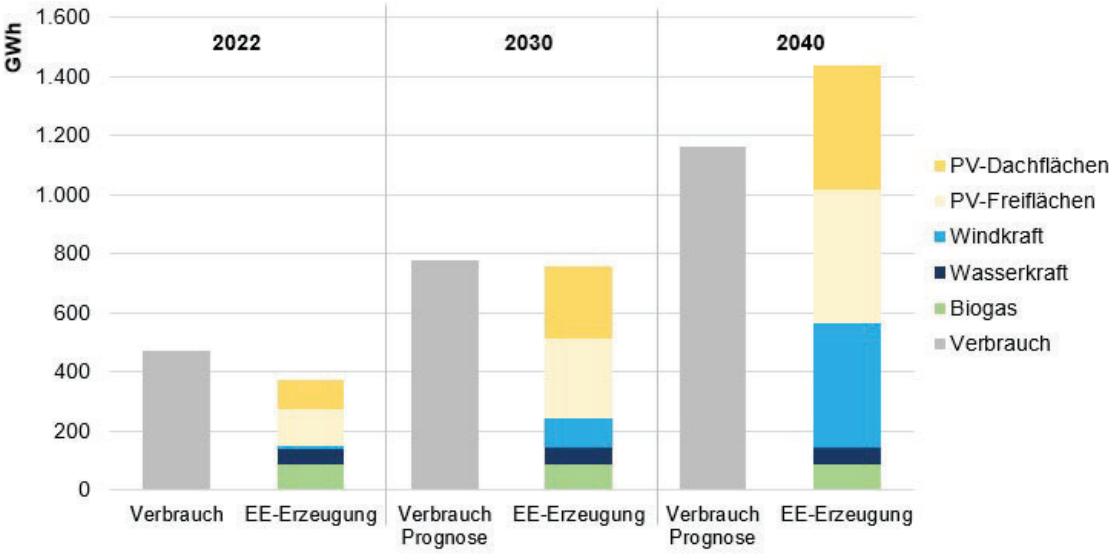


Abbildung 6.4: Transformationspfad für den Stromsektor nach Energieträger

6.4.2 Wärme

Zur Minderung der Treibhausgasemissionen im Wärmesektor trägt zum einen eine Reduzierung des Energiebedarfs bei, zum anderen der Ersatz fossiler Energieträger durch regenerative. Folgende Prämissen sind bei der Ableitung des Transformationspfades berücksichtigt, vgl. Tabelle 6.2:

- Gemäß Abschnitt 5.2 wird die jährliche Sanierungsquote von Gebäuden zu 1,6 % angesetzt. Dies kann den Wärmebedarf gegenüber dem Ist-Zustand bis 2030 auf 88 %, bis 2040 auf 78 % reduzieren. Der gewerbliche Bedarf wird gemäß EU-Effizienzrichtlinie um jährlich 1,5 % gemindert. Die Sanierungsrate bei kommunalen Liegenschaften wird mit 2 %/a etwas ambitionierter angenommen.
- Holz wird 2030 und 2040 mit 93.800 MWh/a im gleichen Umfang wie im Ist-Zustand genutzt.
- Die Wärmemengen aus Solarthermie und Abwärme werden 2030 deutlich angehoben. 2040 werden die ermittelten Potenziale vollständig genutzt.
- Der Einsatz von Heizöl wird bis 2030 um 84 %, der von Erdgas um 50 % gesenkt. Heizöl trägt mit dem höchsten Emissionsfaktor zu den Treibhausgasemissionen bei. Eine starke Reduzierung seines Einsatzes ist auf dem Reduktionspfad unabdingbar. Erdgas folgt im Emissionsfaktor und muss ebenso deutlich reduziert werden. Mit Blick auf die angestrebte Treibhausgasneutralität können die fossilen Energieträger ab 2040 nicht mehr genutzt werden.
- Ein Fünftel des Wärmebedarfs von Gewerbe und Industrie werden durch den Einsatz hochwertiger und in begrenzter Menge verfügbarer grüner Gase wie Biomethan oder grünem Wasserstoff gedeckt.

Die verbleibenden Wärmeenergiebedarfe werden im Gegenzug über strombetriebene Wärmepumpen mit Umweltwärme gedeckt. Unter Wärme aus Strom sind in Tabelle 6.2 dabei auch Stromdirektheizungen einzuordnen. Solche sind für 2030 nur noch geringfügig, für 2040 fast nicht mehr vorgesehen.

Hieraus resultiert eine Aufteilung nach Energieträgern gemäß Tabelle 6.2. Abbildung 6.5 visualisiert die Endenergiemengen und die zugehörigen Treibhausgasemissionen. Verschiebungen zwischen den verschiedenen Energieträgern werden möglich sein.

Wärmepumpen, die Umweltwärme unter Einsatz von Strom nutzbar machen, werden somit die primäre Wärmeerzeugungstechnik. Dabei kommen verschiedene Arten von Umweltwärme in Fragen, insbesondere Grundwasser, oberflächennahe Erdwärme und Umgebungsluft, die je nach Anwendungsfall abzuwägen sind (siehe Kapitel 4.9).

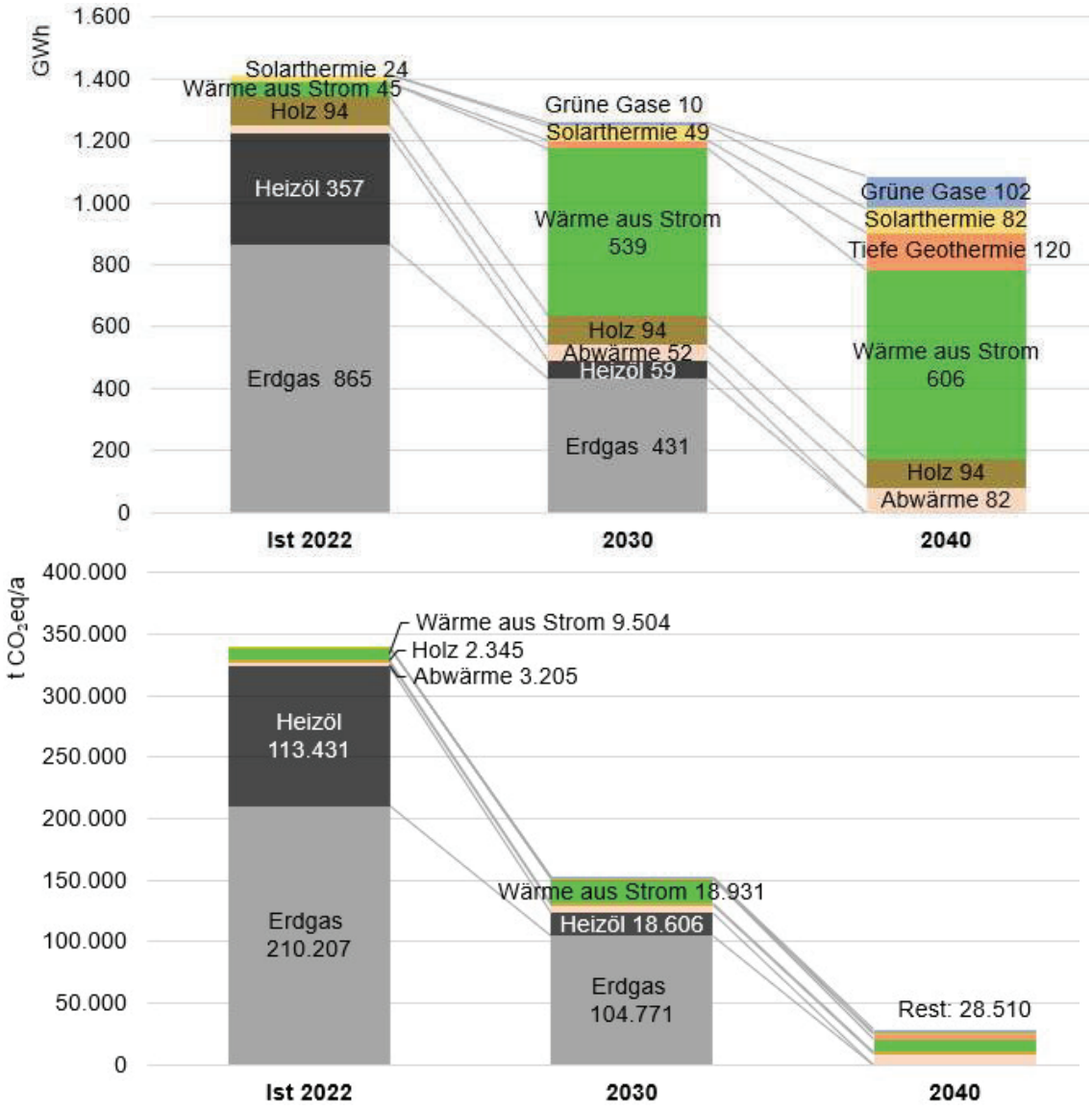


Abbildung 6.5: Transformationspfad für den Wärmesektor. Endenergie und zugehörige Treibhausgasemissionen nach Energieträgern

Tabelle 6.2: Anteil der Energieträger im Transformationspfad Wärme

	Ist (2022)	Potenzial	2030		2040	
Energieträger	MWh/a	MWh/a	Änderung gegenüber Ist	MWh/a	Änderung gegenüber Ist	MWh/a
Solarthermie	23.709	81.511	+108 %	49.399	+244 %	81.511
Holz	93.815	63.836	0 %	93.815	0 %	93.815
Abwärme (auch Biogasanlagen)	28.359	81.800	+84 %	51.111	+188 %	81.800
Grüne Gase	0	-	-	10.233	-	102.331
Tiefe Geothermie	-	nicht bezifferbar	-	24.000	-	120.000
Heizöl	356.700	-	-84 %	58.510	-100 %	0
Erdgas	865.325	-	-50 %	431.294	-100 %	0
Wärme aus Strom	44.931	nach oben offen	+1.153 %	538.952	+1.250 %	606.414
Summe Erzeugung (regenerativ)	1.412.839	-	-11 %	1.258.314	-23 %	1.085.872

Die Wärmegewinnung aus Tiefengeothermie bietet die Möglichkeit der Nutzung regenerativer Wärmemengen in größerem Umfang. Für die Verteilung der Wärme ist der Aufbau zentraler Wärmeversorgungsstrukturen nötig. Die Nutzung von Tiefengeothermie im Betrachtungsraum ist in Abschnitt 7.4 detailliert betrachtet.

Auch die Nutzung von Wärme aus Abwasser oder aus Oberflächengewässer kann punktuell detailliert untersucht werden (s. Abschnitt 4.3 und Maßnahmen K3 und K4 in Abschnitt 8.4). Zudem sollten Möglichkeiten, gewerbliche Abwärme zu erschließen, fortlaufend und wiederkehrend geprüft werden. Eine gute Möglichkeit zur Einbindung dieser Potenziale bietet sich bei Wärmeverbundvorhaben.

Grüne Gase gelten als flexibel einsetzbar, gut speicherbar und zur Erzeugung hoher Prozesstemperaturen geeignet. Sie werden jedoch aller Voraussicht nach nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehen. In dem Maße, wie zukünftig grüner Wasserstoff aus überregionalen bis hin zu außereuropäischen Quellen günstig zur Verfügung steht, kann sich der Wärmedeckungsanteil von „Wärme aus Strom“ zu grünen Gasen verschieben.

6.5 Versorgungsstruktur zur klimaneutralen Bedarfsdeckung

6.5.1 Wärmenetze

Für die flächendeckende Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien gemäß dem oben beschriebenen Transformationspfad können zentrale Wärmeversorgungsstrukturen einen wesentlichen Beitrag leisten. Für Wärmenetze können regenerative Energiequellen in aller Regel effizienter als für Einzelgebäudelösungen genutzt werden. Wärmequellen wie Tiefengeothermie, Prozessabwärme oder Flusswärme sind ausschließlich über Wärmenetze nutzbar. Außerdem können zukünftige Neuentwicklungen schnell in die lokale Wärmeerzeugung integriert werden.

Um den Ausbau bestehender und den Aufbau zusätzlicher Wärmenetze zu unterstützen, wurden die Siedlungsgebiete auf ihre Wärmenetzeignung hin überprüft.

Einstufung von Siedlungsflächen nach der wirtschaftlichen Effizienz der Wärmeverteilung über Wärmenetze

Um Siedlungsflächen danach einzustufen, ob zu ihrer Versorgung ein wirtschaftlicher Betrieb eines Wärmenetzes voraussichtlich möglich ist, wurden zusammenhängende Siedlungsbereiche abgebildet. Die Einstufung der einzelnen Siedlungsflächen erfolgte auf Basis der gebäudescharfen Wärmebedarfe und prognostizierter Wärmenetz-Erschließungskosten. Eine räumliche Darstellung ist beispielhaft in Abbildung 6.6 gezeigt. Der Parameter ‚Wärmeabsatz pro Erschließungskosten‘ (in kWh/a/€) errechnet sich als prognostizierter jährlicher Wärmeabsatz für die Gebäude der Siedlungsfläche bezogen auf die Investitionskosten der Erschließung. Die gewählten Einstufungsbereiche sind in der Legende zu Abbildung 6.6 wiedergegeben.

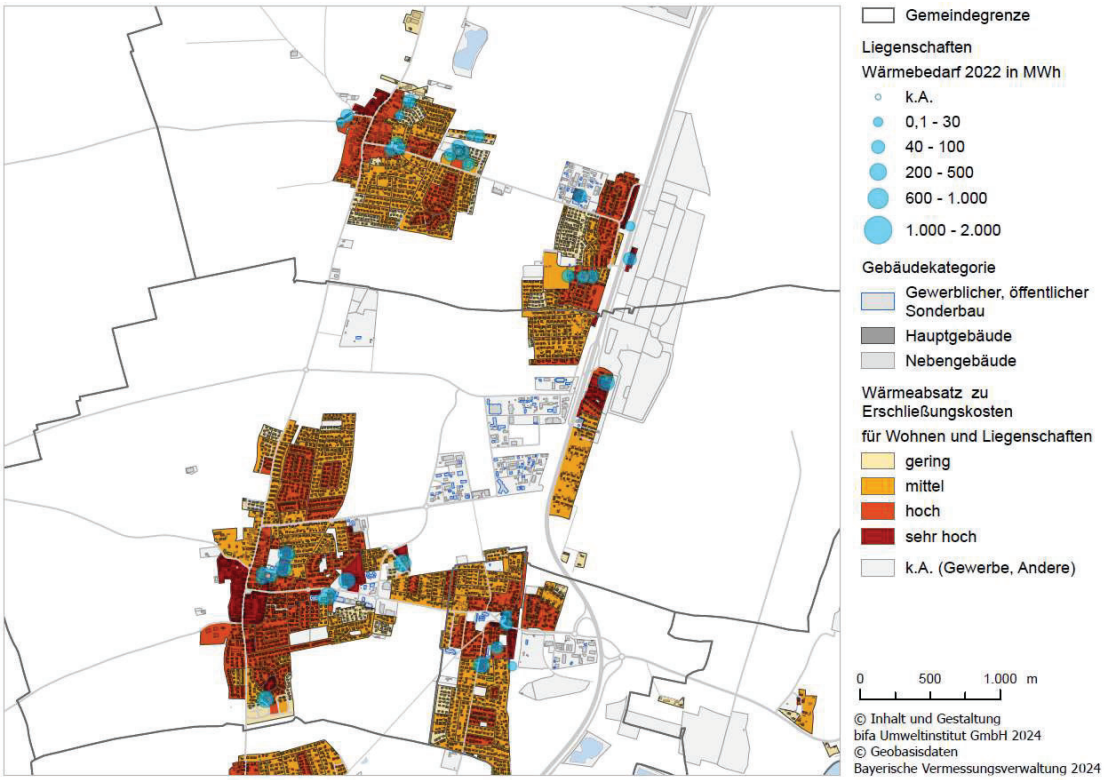


Abbildung 6.6: Einstufung von Siedlungsflächen nach der Wahrscheinlichkeit einer wirtschaftlichen Umsetzung von Wärmenetzen (beispielhafter Kartenauszug für Untermeitingen und Graben)

Farbcode	***Voraussichtliche Effizienz der Wärmeverteilung***	***Wärmeabsatz zu Erschließungskosten*** *in kWh/a/€*
	gering	*unter 0,86*
	mittel	*0,86-1,11*
	hoch	*1,11-1,50*
	sehr hoch	*über 1,50*

Die Analysen wurden kartengestützt ausgeführt. Für jede Gemeinde wurde eine Karte mit den Eignungseinstufungen übergeben. Als wichtige Keimzellen und Abnehmer von Fernwärme sind die gemeindlichen Liegenschaften ergänzend eingezeichnet.

Unabhängig von der Einstufung einzelner Gebiete ist für die erfolgreiche Umsetzung eine detaillierte Planung und Wirtschaftlichkeitsberechnung in jedem Falle notwendig. Erste Betrachtungen wurden für ausgewählte Netzansätze in den Wärmeverbundbetrachtungen in Abschnitt 7.5 vorgenommen.

Die Einstufungen können zudem nicht als final gelten, da Faktoren, die wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit nehmen, nicht festgelegt sind oder sich ändern können. Dies sind insbesondere:

- Zukünftiger Preis für Energie inkl. CO_2-Emissionen sowie Kosten im Anlagenbau
- Zukünftiger Rechtsrahmen und Förderbedingungen
- Lokale Anschlussbereitschaft, erzielbare Anschlussquote
- Räumliche Lage der Wärmezentrale
- Möglichkeit, mehrere Gebiete gemeinsam zu versorgen

6.5.2 Entwicklung der Gasversorgung

Im Ist-Zustand ist im Betrachtungsraum nahezu flächendeckend – mit Ausnahme weniger Ortsteile und Gemeinden – ein Erdgasnetz vorhanden (s. Abschnitt 3.1.1). Der Aufbau zentraler Wärmeversorgungsstrukturen oder die Umstellung auf strombasierte Wärmebereitstellung kann in Zukunft den Rückbau dieses Netzes nahelegen.

Zu erörtern ist in diesem Zusammenhang eine Umstellung der Biogasanlagen von der Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung auf eine Biomethan-Aufbereitung und -Einspeisung ins Gasnetz. Damit könnten neue Biogasmengen in das Gasverteilnetz eingespeist und Teile des bisherigen Netzes könnten nicht-fossil weiterbetrieben werden. Zu berücksichtigen ist dabei:

- Die Umstellung zu Biogasaufbereitung und Biomethan-Einspeisung ist wirtschaftlich erst ab einer entsprechenden Anlagengröße darstellbar, nach Daniel-Gromke (2020) ab einer Anlagengröße über 250 m³ Biogas/h entsprechend einer elektrischen Leistung über rund 600 kW. Die vor Ort bestehenden Anlagen erreichen diese Leistung größtenteils nicht. Zusammenschlüsse von Biogasanlagen mit gemeinschaftlicher Aufbereitung sind denkbar (siehe Maßnahme E4).
- Von örtlichen Biogasanlagenbetreibern bereits eingegangene vertragliche Verpflichtungen sowie getätigte Investitionen, um Anwohner mit Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung zu versorgen, stehen einer Umstellung im Weg.

In den nächsten Jahren wird zu klären sein, in welchem Umfang das bestehende Erdgasnetz auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität erhalten bleibt. Die Energiemenge aus den lokalen Biogasanlagen kann nur einen Teil des Wärmeenergiebedarfs im Betrachtungsraum abdecken, vgl. Abschnitt 6.2.2. Ohne Erdgas, das auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität entfallen muss, steht ein groß angelegter Weiterbetrieb von Gasheizungen und – damit verbunden – des bestehenden Verteilnetzes in Frage.

Eine Umrüstung des Erdgas-Verteilnetzes auf grünen Wasserstoff wird alternativ diskutiert. Dieses Zukunftsszenario kann unter der Prämisse einer Energieversorgung aus lokalen Potenzialen kaum realisiert werden – dies ist in folgendem Exkurs ausgeführt. Es bedarf ausländischer Wasserstoffquellen. Der Einsatz von mit Strom erzeugtem Wasserstoff zu Gebäudeheizzwecken ist gegenüber einer direkten Stromnutzung mit Wärmepumpen um den Faktor 4-

5 ineffizienter (Öko-Institut 2021, S. 37). Jedoch könnte Wasserstoff zu Zeiten überschüssiger erneuerbarer Energien unter günstigen Grenzkosten und in begrenzter Menge produziert werden. Wenngleich grüner Wasserstoff für die treibhausgasneutrale Energiezukunft ein wesentlicher Baustein sein wird, ist anzunehmen, dass seine Rolle für die Raumwärmeerzeugung bis auf Weiteres gering sein wird. Zumindest in den nächsten 10 Jahren ist keine netzgebundene Wasserstoff-Versorgung in der Region Lech-Wertach geplant (Schoof, 2025).

Exkurs: Energiebedarf zur Wasserstoffherstellung

Der in Abschnitt 6.4.2 dargestellte Transformationspfad für Wärme sieht zukünftig einen überwiegenden Anteil der Wärmebereitstellung durch strombetriebene Wärmepumpen in Verbindung mit Umweltwärme vor. In dieser Studie steht eine Energiebedarfsdeckung aus lokalen erneuerbaren Potenzialen im Fokus. Unter dieser Prämisse ist eine Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen einer Erzeugung von Wasserstoff als Brennstoff aus Effizienzgründen vorzuziehen. Die Hochrechnung in Tabelle 6.3 zeigt: Würde die Deckung von 606.000 MWh/a Wärme im Jahr 2040 nicht mit Wärmepumpen, sondern mit vor Ort aus lokalem Windstrom erzeugtem Wasserstoff erfolgen, wären im Betrachtungsraum 90 zusätzliche Windräder zu errichten.

Tabelle 6.3: Prognose der zusätzlich benötigten Strommengen bzw. Windkraftanlagen zur Wasserstoffherstellung bei Ersatz der Wärmemengen aus Strom im Transformationspfad 2040 durch Wasserstoff

	Einheit	Wert
Endenergiebedarf Wärme aus Strom 2040	MWh/a	606.000
Wasserstoffbedarf bei 90% Jahresnutzungsgrad der Heizung	MWh/a	674.000
Heizwert Wasserstoff	MWh/t	33
Wasserstoffmenge	t/a	20.420
Spezifischer Strombedarf zur Wasserstoffherstellung [3]	MWh/t	55
Strombedarf zur Wasserstoffherstellung	MWh/a	1.123.000
Strombedarf zur Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen 2040 (siehe Tabelle 6.2)	MWh/a	174.000
Mehrverbrauch Strom bei Wärmebereitstellung mit Wasserstoff, anstatt Wärmepumpen	MWh/a	949.000
Prognostizierter Stromertrag je Windrad im Betrachtungsraum	MWh/a	10.500
Theoretische Anzahl zusätzlicher Windräder im Betrachtungsraum	Stück	90

[3] Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES; Praxiswissen für Wasserstoffprojekte; zuletzt abgerufen am 13.12.2024 unter: https://blog.academy.fraunhofer.de/blogbeitraege/wasserstoff-aus-windenergie-nachhaltige-energieversorgung/

6.6 Transformationsstrategie

Ausgehend von Zielszenario, Transformationspfad und der angesetzten zukünftigen Versorgungsstruktur können folgende wesentliche Handlungsbereiche für den Klimaschutz im Handlungsfeld Energie abgeleitet werden. Im Sinne der kommunalen Wärmeplanung liegt ein Fokus auf der Transformation im Wärmesektor. Auf die in Kapitel 8 ausgeführten Maßnahmen wird verwiesen. Die Maßnahmen sind zum Teil mehreren Handlungsbereichen zuzuordnen.

Organisation des Klimaschutzes

Klimaschutz ist als Managementaufgabe zu sehen, deren Ausführung durch Zuständigkeiten und Abläufe gewährleistet wird. Klimaschutzziele dienen der Ausrichtung der Aktivitäten.

Mit der Erstellung des ENP und der kommunalen Wärmeplanung richten sich die Kommunen des Betrachtungsraums auf eine Treibhausgasneutralität im Strom- und Wärmesektor bis zum Jahr 2040 aus. Lokal passende, konkrete Umsetzungen wurden in Abstimmung entwickelt und als Maßnahmen vorgeschlagen.

Die Umsetzung der Maßnahmen und die Zielerreichung liegen im Verantwortungsbereich der Kommunen als planungsverantwortliche Stellen. Die Einbettung der Ziele und Maßnahmen in eine Organisationsstruktur mit definierten personellen Verantwortlichkeiten und Zielerreichungskontrollen ist Grundlage für eine erfolgreiche Beschreitung des Transformationspfads. Maßnahme V2 konkretisiert diese Aufgabe.

Jegliche Form der interkommunalen Zusammenarbeit kann bei der Zielerreichung unterstützen, insbesondere bei der Koordination und Entwicklung von kommunenübergreifenden Energieprojekten und der Bündelung dafür nötiger Fachexpertise. Optionen zur Zusammenarbeit bieten das Regionalwerk Lech-Wertach-Stauden und die Regionalentwicklung Begegnungsland Lech-Wertach.

Kommunale Liegenschaften

Energiebedarf und -versorgung ihrer Liegenschaften liegen im direkten Einflussbereich der Kommunen.

- Als Informationsgrundlage für wirksame Klimaschutzmaßnahmen bei Liegenschaften, zum Monitoring wie auch für den Managementprozess (s. o.) wird ein kommunales Energiemanagement vorgeschlagen (Maßnahme V1).
- Die Liegenschaften sollen treibhausgasneutral werden. Hebel hierzu sind energetische Sanierung, bauliche Optimierung, technische Gebäudeausrüstung, Optimierung von Nutzungskonzepten, Energieträgerwechsel und Eigenstromerzeugung (Maßnahmen K1, K2 und K5).

Vorgaben für die Gestaltung und den Betrieb von Gebäuden im Privateigentum

Für einen klimafreundlichen Neubau können die Kommunen im Rahmen von Bebauungsplänen, städtebaulichen Verträgen oder Grundstückskaufverträgen Vorgaben machen (Maßnahme V3).

Um Einfluss auf Bestandsgebäude zu nehmen, haben Kommunen kaum rechtliche Handhabe. Jedoch sollten Angebote der Energieinfrastruktur (Wärmenetze, Maßnahmen W1 bis W7) und Maßnahmen der Bildung, Beratung und Motivation (Maßnahmen B1 bis B3) klimaschützende Umstellungen in diesem Bereich unterstützen und anstoßen.

Wissensgenerierung, Bildung, Beratung und Motivation

Zur Unterstützung der Erschließung innovativer Wärmequellen können die Kommunen Machbarkeitsstudien in Auftrag geben, in denen das Wissen für Umsetzungen erarbeitet wird (Maßnahmen K3 und K4). Eine Zusammenarbeit mit dem Regionalwerk kann hierbei hilfreich sein.

In allen Bereichen, in denen die Kommunen rechtlich keinen Einfluss auf klimarelevante Entscheidungen haben, können sie durch Bildung, Beratung und Information Anstöße geben (Maßnahmen B1 bis B3).

Nach Erkenntnissen der umweltpsychologischen Forschung nimmt das soziale Umfeld auf umweltrelevante Entscheidungen von Menschen wesentlichen Einfluss. In diesem Zusammenhang ist auch die Vorbildfunktion der Kommunen durch Klimaschutzmaßnahmen im eigenen Entscheidungsbereich hervorzuheben.

Infrastruktur: Versorgung über Wärmenetze

Das Wärmekataster (Abschnitt 3.3.2) und die Einstufung von Siedlungsflächen nach der wirtschaftlichen Effizienz der Wärmeverteilung über Wärmenetze (Abschnitt 6.5.1) sind Basis für zielgerichtete Maßnahmen. Der Auf- und Ausbau von Wärmenetzen sollte von Seiten der Kommunen unterstützt werden, sei es durch Bewerbung, Aufklärung oder Motivation der Bürgerinnen und Bürger oder durch fachliche und planerische Begleitung und Umsetzung der Baumaßnahmen. Kommen Dritte als Betreiber von Wärmenetzes in Betracht, sollten die Kommunen ihr Anschlussinteresse für die kommunalen Liegenschaften frühzeitig anmelden. Dieses erhöht für den Netzbetreiber die Planungssicherheit und fördert so die zügige Umsetzung einzelner Bauabschnitte. Das Anschlussinteresse für die kommunalen Liegenschaften wird idealerweise durch den Abschluss eines Vorvertrags untermauert.

Die Maßnahmen für die Wärmeversorgung sind als W1 bis W7 in Abschnitt 8.7 ausgeführt.

Um den steigenden Strombedarf insbesondere durch Wärmepumpen und E-Mobilität ortsnah decken zu können, sind Maßnahmen zur regenerativen Stromerzeugung sinnvoll (Maßnahmen E1 bis E5).

7 Schwerpunktprojekte

Fünf Themenschwerpunkte, die zur Umsetzung der Energie- und Wärmewendestrategie wichtige Grundlagen liefern, wurden vertiefend betrachtet. Die Erkenntnisse werden in diesem Kapitel dargelegt, bevor in Kapitel 8 der Maßnahmenplan erläutert wird.

7.1 PV-Freiflächenanlage Graben

Im Themenschwerpunkt ‚Planung einer Erneuerbare-Energien-Anlage‘ wurde eine PV-Freiflächenanlage in der Gemeinde Graben technisch und wirtschaftlich untersucht.

Die in Betracht kommende Fläche ist derzeit als Ausgleichsfläche ausgewiesen. Nach Mitteilung des Landratsamts Augsburg vom 07.08.2024 ist die Überbauung einer Ausgleichsfläche nicht ohne weiteres möglich. Die Ausgleichsfläche wäre zuerst zu verlegen. Die Flurstücke liegen nördlich des Ortsteils Graben, zwischen der Staatsstraße und einem Baggersee (vgl. Abbildung 7.1). Das Grundstück umfasst 3,9 ha. Rund 3,2 ha können ohne Rodung der teilweise vorhandenen Baumeinfassung und Planierung (bewachsener Hügel im Zentrum) genutzt werden. Weitere Informationen finden sich in Maßnahme E5 in Abschnitt 8.6.

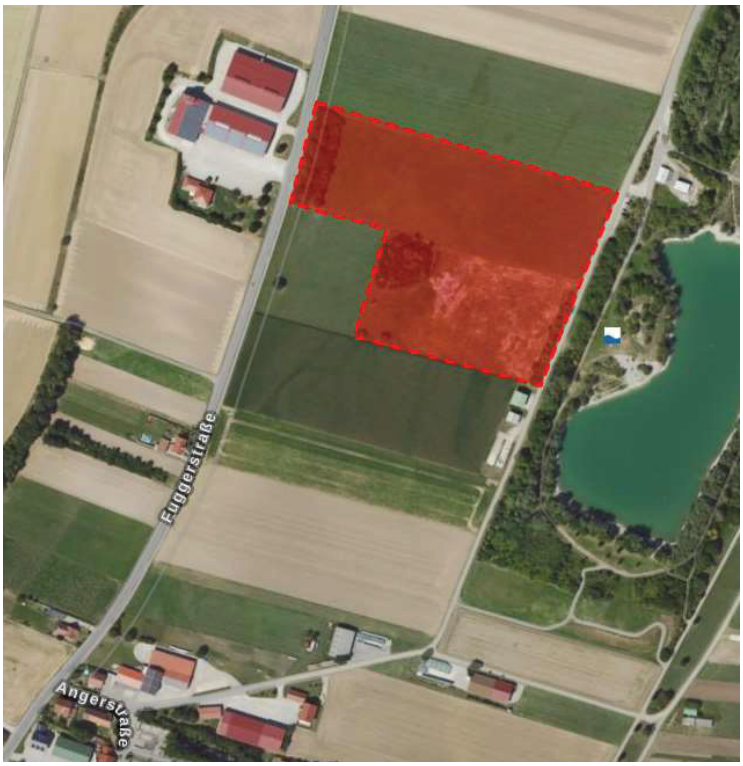


Abbildung 7.1: Lage und Ausdehnung der nutzbaren Fläche (Bildquelle: BayernAtlas 2024)

Die Kennzahlen zur Berechnung der Anlage sind in Tabelle 7.1 aufgeführt.

Tabelle 7.1: PV-Freiflächenanlage Graben - Projekteckdaten und Kennwerte

Projektdaten	**Wert**	**Einheit**
Grundstücksfläche	39.400	m²
nutzbare Fläche (ohne Rodung, Planierung)	32.800	m²
Leistungsdichte	100	W/m²
Leistung	3.280	kW
Volllaststunden	950	h/a
Stromertrag (2025)	3.120	MWh/a
Modul-Degradation, jährlich	0,5%	
erstes Betriebsjahr	2025	
Betriebsdauer	20	a
Systempreis bis 5 MW	610,00	€/kW
PVF-Anlage	2.000.800	EUR
Einspeiseleitung inkl. Verlegung	697.000	EUR
Trafo und Anschlusskosten	180.000	EUR
Investitionsbedarf, gesamt	2.877.800	EUR
Zinssatz (KfW-IKK 20/3/20)	2,88%	
Abschreibungsdauer	20	a
Betriebskostensatz	13,00	€/kW/a
Betriebskostensteigerung, jährlich	1,5%	
Direktvermarktungskosten (DVK)	3,20	€/kW/a
Entwicklung DVK	1,0%	
Stromerlöse, Börse (2023)	7,20	ct/kWh
Prognose Entwicklung Börsenstrompreis (vbw/Prognos, 2023)	-0,7%	pro Jahr

Die ökonomischen Kennzahlen des Projekts werden über eine dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung über einen Zeitraum von 20 Jahren berechnet. In Tabelle 7.2 sind die Zwischenergebnisse und Resultate des ersten Betriebsjahrs dargestellt, unter der vereinfachten Annahme eines vollen Betriebsjahres.

Der abgeleitete Stromgestehungspreis läge für das Startjahr (Annahme 2025) bei 8,94 ct/kWh. Bei einem angenommenen Strompreis von 7,2 c/kWh (Jahresmittelwert 2023) ergäbe sich ein negativer Kapitalfluss von rd. 18.200 € und ein Verlust von rd. 54.100 €.

In Abbildung 7.2 wird die Entwicklungsprognose der Stromgestehungskosten für 20 Betriebsjahre prognostiziert. Im Mittel über die Laufzeit liegen diese bei 8,03 ct/kWh.

Tabelle 7.2: Berechnung der Stromgestehungskosten am Beispiel des Startjahres 2025

alle Beträge netto		Einzelpos. 2025	Kapital-fluss	GuV	Gesamtbe-lastung
Abschreibung, linear	EUR	143.890		x	x
Zinskosten	EUR	81.463		x	x
Annuität	EUR	189.455	x		
Betriebskosten	EUR	42.640	x	x	x
Direktvermarktungskosten	EUR	10.496	x	x	x
Stromerlös	EUR	224.352	x	x	
ERGEBNIS	EUR		-18.239	-54.137	278.489
Stromerzeugung	MWh/a				3.116
Stromgestehungskosten	ct/kWh				8,94

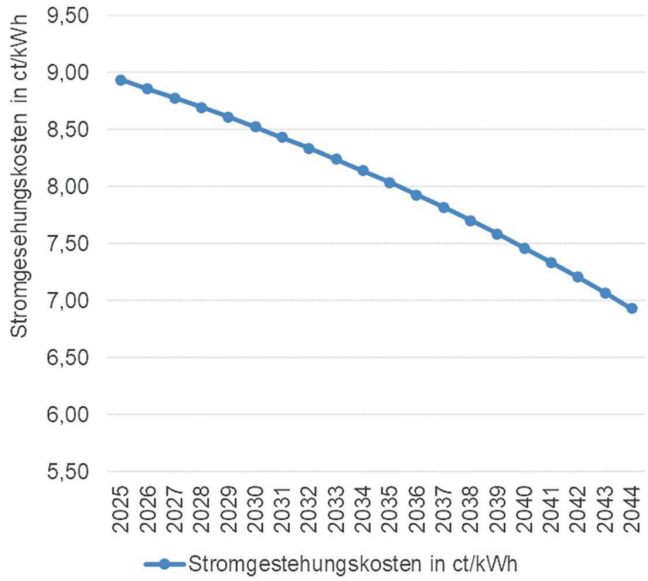


Abbildung 7.2: Prognose der Entwicklung der Stromgestehungskosten bis 2044

Bei den vorliegenden Annahmen zum Börsenstrompreis 7,2 ct/kWh bei jährlich rücklaufender Preisentwicklung (-0,7 %) würde der Kapitalfluss stets negativ ausfallen. Für einen wirtschaftlichen Erfolg bedürfte es somit einer anderen Börsenpreisentwicklung oder eines anderen Vertriebsweges. Möglichkeiten hierfür werden im Abschnitt 7.2 beleuchtet.

7.2 Stromverbund

Die Fragestellungen des Schwerpunktprojekts Stromverbund wurden mit dem Auftraggeber im Zuge des Projekts spezifiziert. Für das Bilanzjahr und für das Zielszenario 2040 wird analysiert, wie – in zeitgleicher Betrachtung – die lokale regenerative Stromerzeugung den Stromverbrauch decken kann. Hierzu dient eine Lastganganalyse. Die mögliche Erhöhung des zeitgleichen Deckungsgrads durch den Ausbau von PV oder Windkraft wird berechnet (Abschnitt 7.2.1). Unterschiedliche Strombeschaffungs- und Vermarktungsoptionen werden charakterisiert. Relevante Optionen werden am Beispiel der PV-Freiflächenanlage Graben angewendet (Abschnitte 7.2.2 und 7.2.3).

7.2.1 Zeitgleicher Deckungsanteil

Ist-Situation

Jahresbilanziell werden im Betrachtungsraum derzeit rund 76 % des verbrauchten Stroms vor Ort regenerativ erzeugt. Aufgrund des hohen Anteils an PV-Strom treten jedoch regelmäßig Erzeugungsspitzen auf, in denen der erzeugte Strom nicht verbraucht werden kann. Eine Lastganganalyse von regenerativer Stromerzeugung und Stromverbrauch lässt einen tatsächlichen zeitgleichen Deckungsanteil von 60 % erwarten. Zugleich können in Jahressumme 16 % der erzeugten Strommengen nicht im Betrachtungsraum genutzt werden. Abbildung 7.3 verdeutlicht die Zusammenhänge anhand eines Auszugs aus der Lastganganalyse. Basis bildet der aktuelle Stand der installierten Leistung aller Erneuerbaren-Energie-Anlagen im Betrachtungsraum. Der Verbrauch ist der erneuerbaren Stromerzeugung im Zeitverlauf gegenübergestellt.

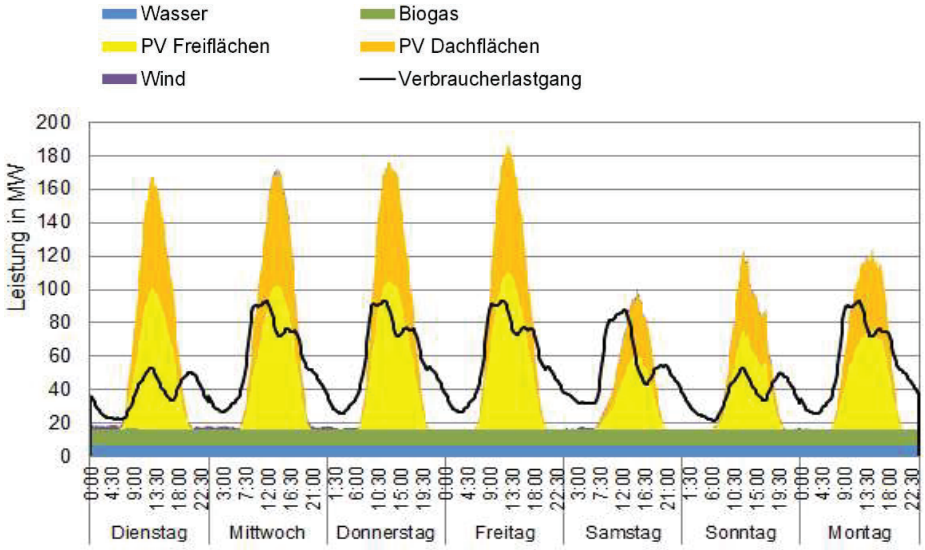


Abbildung 7.3: Auszug aus einer synthetischen Strom-Lastganganalyse für ein exemplarische Jahreswoche 01. bis 07. Mai.

Zieljahr 2040

Im Zieljahr 2040 sind im Stromverbrauch auch die in Abschnitt 6.4.1 berechneten Strommengen für den Betrieb von Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen enthalten. Die Analyse zeigt eine jahresbilanzielle Deckung der Strombedarfe mit lokalem erneuerbarem Strom von 131 %, jedoch nur eine zeitgleiche Deckung von 73 %. Über das Jahr gesehen können 59 %

der erzeugten Strommengen nicht zeitgleich genutzt werden, sondern müssen zwischengespeichert oder in übergeordnete Netzebenen eingespeist werden. In Abbildung *7.4* sind Stromverbrauch und regenerative Erzeugung am Beispiel einer sonnenarmen Woche Anfang Februar (oben) und einer sonnenreichen Woche Anfang Mai (unten) dargestellt.

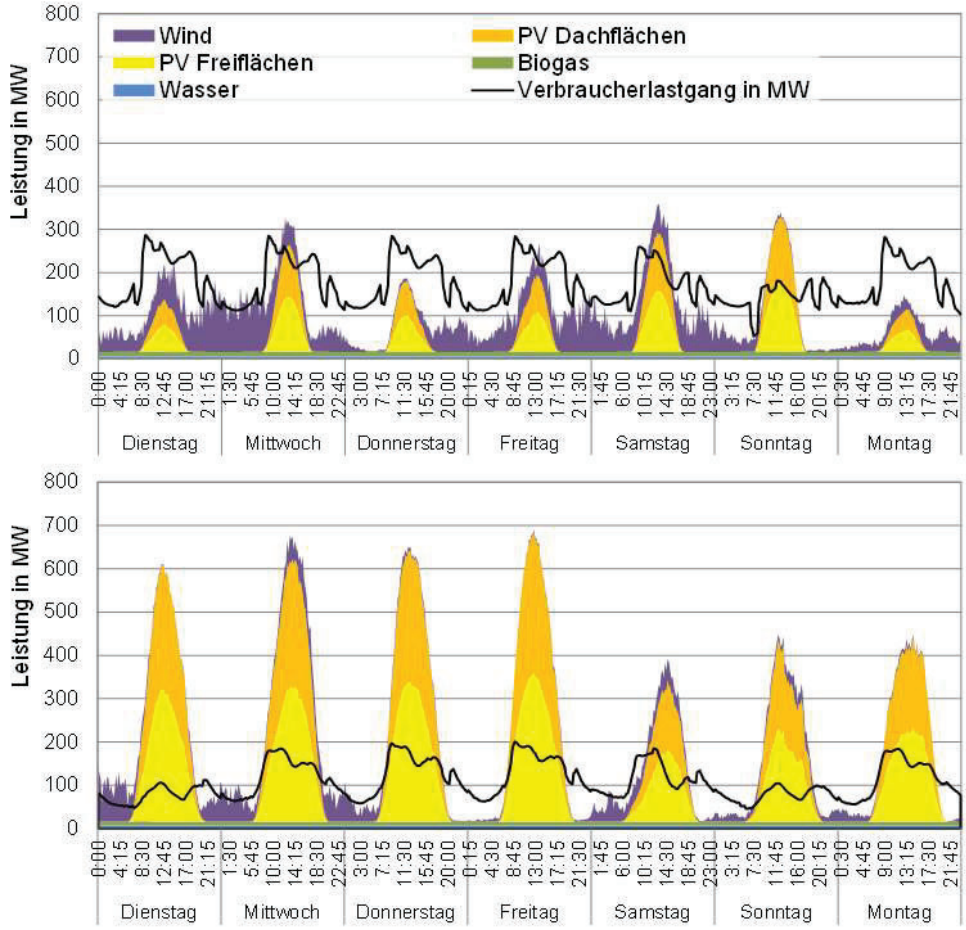


Abbildung 7.4: Strom-Lastganganalyse für das Zieljahr 2024. Oben für den Zeitraum 04. bis 10. Februar, unten für den Zeitraum 01. bis 07. Mai

Optimierung von Stromerzeugung und -verbrauch

Abbildung *7.4* macht deutlich, wie der Bedarf an Stromspeicherkapazitäten und Lastmanagement mit steigendem Einsatz regenerativer Energien zunimmt. In Betracht kommen u. a. stationäre Stromspeicher, bidirektionale Speicher in Elektrofahrzeugen, systemdienlicher Betrieb von Wärmepumpen und die Erzeugung von Wasserstoff. Die Installation von Stromspeichern ist in den letzten Jahren stark gestiegen. 68 % der in Deutschland vorhandenen Speichergesamtkapazität wurde erst in den Jahren 2022 und 2023 installiert (ISE, 2024).

Mit steigender Zahl an Elektrofahrzeugen steigt auch hier die Speicherkapazität für Strom. Das bidirektionale Laden eröffnet die Möglichkeit, dass zukünftig größere regenerative Strommengen in Elektrofahrzeugen zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder ins Gebäude- oder Stromnetz zurückgespeist werden können.

Stationäre Stromspeicher an PV-Freiflächenanlagen dienen der Verringerung von Erzeugungsspitzen und ermöglichen die zeitversetzte, bedarfsgerechte Strombereitstellung.

Auch kann Strom zu Überschusszeiten zur Wärmeerzeugung in Wärmepumpen eingesetzt werden, in Einzelgebäuden wie auch in Wärmenetzen. Die Speicherung der Wärme in Tages- oder Wochenspeichern ermöglicht eine gute Entkopplung von regenerativer Stromerzeugung und Wärmeverbrauch.

Auch die Erzeugung von Wasserstoff und anderer grüner Gase aus überschüssigem regenerativem Strom ist eine mögliche Form der Speicherung. Werden im Jahr 2040 mit angenommen der Hälfte des nach Lastganganalyse berechneten Überschussstroms Elektrolyseure betrieben, könnte eine Energiemenge von rund 220.000 MWh/a in Form von etwa 4.000 t Wasserstoff zwischengespeichert werden.

Biogasanlagen bieten die Möglichkeit der flexiblen und bedarfsgerechten Erzeugung erneuerbarer Strommengen. Aufgrund der begrenzten Ausbaupotenziale im Betrachtungsraum kann die Flexibilisierung der Biogasanlagen die bedarfsgerechte Strombereitstellung im Jahr 2040 nur begrenzt unterstützen. So lässt sich der Anteil des zeitgleich gedeckten Stromverbrauchs bei einer vollständigen Flexibilisierung der Biogasanlagen im Jahr 2040 von 73 % auf 76 % steigern.

Vergleich des Zubaus von Windkraft gegenüber PV

Der Vergleich von Ist-Situation und Zielszenario zeigt die Bedeutung des Zubaus von Windkraftanlagen. In Abbildung 7.5 sind die Wirkungen des Zubaus unterschiedlicher regenerativer Stromerzeugungsanlagen verglichen. Im Vergleich zum Ist-Stand zeigt der Zubau von PV-Anlagen kaum noch Zuwächse bei der zeitgleichen Deckung von regenerativer Erzeugung und Verbrauch. Windkraftanlagen lassen dagegen bei einem Zubau von jährlich 300.000 MWh/a (ca. 28 Anlagen mit 6 MW) einen Anstieg der zeitgleichen Deckung von aktuell 60 % auf 84 % erwarten. Der Anteil abzugebender Überschüsse ins Stromnetz erhöht sich entsprechend weniger stark als beim Zubau der gleichen Jahresstrommenge aus PV-Anlagen. Da Windkraftanlagen überwiegend in den Übergangs- und Wintermonaten und auch nachts Strom erzeugen, stellen sie eine gute Ergänzung zur Stromerzeugung in PV-Anlagen dar. Die Effekte des genannten exemplarischen Zubaus an Windkraft auf die Lastgangkurven im Ist-Zustand illustriert Abbildung 7.6.

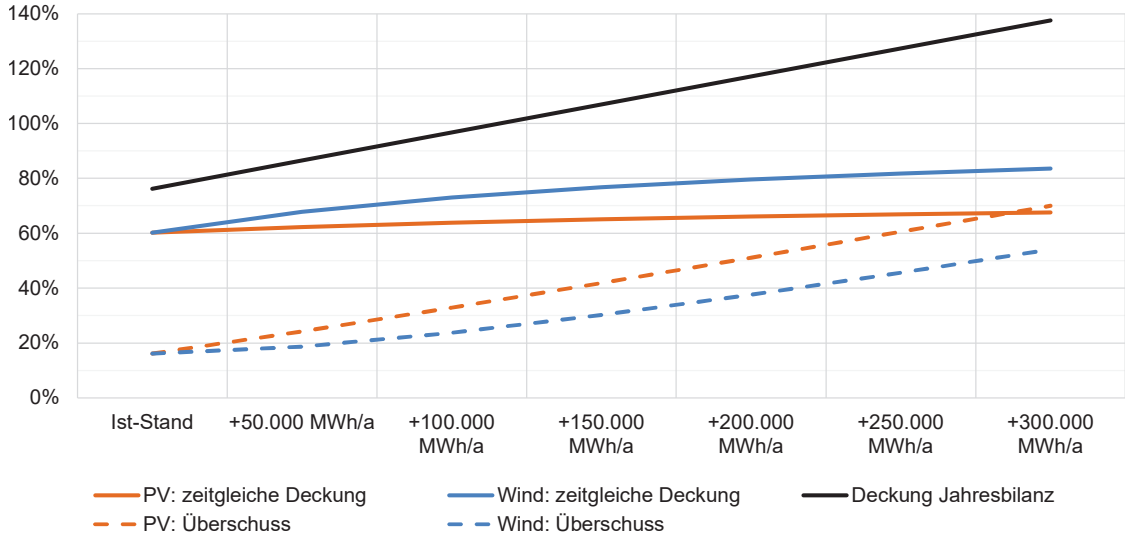


Abbildung 7.5: Deckungsanteile (jahresbilanziell und zeitgleich) sowie anteilige Stromüberschüsse im Verteilnetz des Betrachtungsraumes bei angenommenem Zubau von Strom aus PV- oder Windkraftanlagen

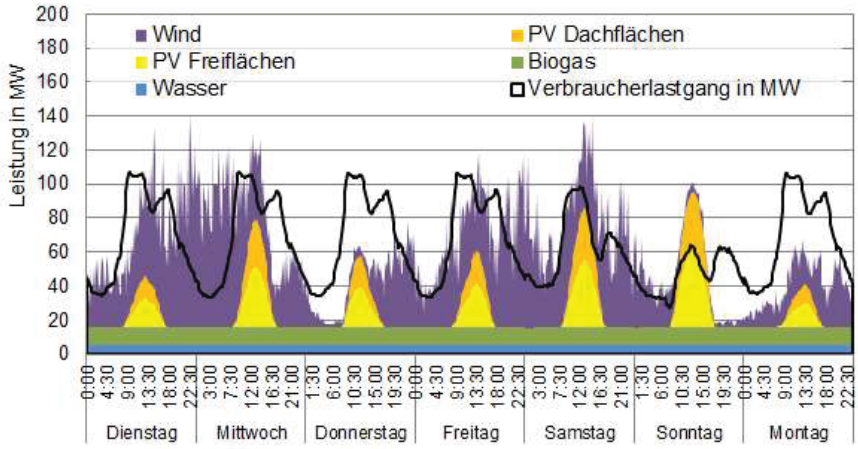


Abbildung 7.6: Strom-Lastganganalyse für 04. bis 10. Februar, nach einem angenommenen Ausbau der Windkraft um eine Erzeugungskapazität von 300.000 MWh/a

7.2.2 Bündelausschreibungen zum Stromeinkauf

Die Bündelausschreibung ist ein Verfahren, bei dem mehrere Verbraucher, wie Unternehmen, Kommunen oder Wohnungsgesellschaften, ihren Strombedarf gemeinsam ausschreiben, um bessere Konditionen bei Energieversorgern zu erzielen. Mit dem somit größeren Ausschreibungsvolumen sind oftmals langfristigere Verträge verbunden. Das Verfahren kann für die Stromkunden mehrere Vorteile mit sich bringen:

- Kostenersparnis: Durch das höhere Abnahmevolumen erhalten Teilnehmer häufig günstigere Stromtarife als bei Einzelverträgen. Dadurch sind Einsparungen von bis zu 15 % möglich.
- Der administrative Aufwand reduziert sich, da statt mehrerer einzelner nur eine Ausschreibung durchgeführt werden muss.
- Weiterhin ergibt sich eine höhere Planungssicherheit, wenn durch langfristige Verträge Preisschwankungen am Energiemarkt abgefedert werden können.

Allerdings sind bei einer Bündelausschreibung auch mögliche Nachteile zu berücksichtigen:

- Einzelne Teilnehmer haben weniger Einfluss auf spezifische Vertragsbedingungen, da die Ausschreibung an die Bedürfnisse der gesamten Gruppe angepasst werden muss.
- Die Koordination der Teilnehmer kann aufwendig sein, insbesondere wenn sie unterschiedliche Anforderungen an den Vertrag haben.
- Eine weitere Einschränkung besteht in der geringeren Flexibilität bei langfristigen Verträgen. Sollte sich der Strommarkt während der Vertragslaufzeit verändern, kann eine langfristige Bindung unter Umständen nachteilig sein.
- Kleinere, gegebenenfalls lokale Stromanbieter können von der Teilnahme ausgeschlossen werden, wenn die geforderte Liefermenge deren Kapazität übersteigt.
- Weiterhin verlangen Unternehmen, die Bündelausschreibungen im Auftrag der Stromverbraucher durchführen, eine Vergütung, die üblicherweise im Bereich zwischen 5000 € und 10.000 € pro Ausschreibung liegt.

7.2.3 Modelle zur Vermarktung von eigenerzeugtem regenerativem Strom

Power Purchase Agreement (PPA)

Ein PPA ist ein Stromliefervertrag zwischen einem Stromerzeuger und einem Stromabnehmer. Der Stromabnehmer kann entweder ein Endverbraucher oder ein Energieversorgungsunternehmen sein. Bei sogenannten Onsite-PPAs wird der Strom über eine direkte Leitung vom Erzeuger zum Endverbraucher in der unmittelbaren Umgebung übertragen, ohne das öffentliche Netz zu nutzen. Daher entfallen bei diesem Modell die Netzentgelte. Überschüssiger Strom darf dennoch ins öffentliche Netz eingespeist werden. Beispielsweise kann ein Industrieunternehmen seine Dachflächen an einen Projektierer für Photovoltaikanlagen vermieten, der den dort erzeugten Strom wiederum über ein PPA an das Industrieunternehmen verkauft.

Im Gegensatz dazu kann über Offsite-PPAs die bilanzielle Abnahme einer definierten Strommenge zwischen einem Erzeuger und einem Verbraucher vereinbart werden. Da der Strom durch das öffentliche Netz an den Endverbraucher geliefert wird, muss sich der Erzeuger nicht zwingend in räumlicher Nähe zum Verbraucher befinden.

Bei der Preisgestaltung muss beachtet werden, dass Solar- und Windkraftanalagen, deren Strom über PPAs verkauft wird, nicht EEG-förderberechtigt sind. Die Direktvermarktung ist daher nur lohnenswert, wenn die Vergütung aus dem PPA die EEG-Einspeisevergütung übersteigt. Des Weiteren können die bei der Stromproduktion anfallenden Grünstromzertifikate ebenfalls an den Endverbraucher veräußert werden. Die Preise für die Direktvermarktung durch PPAs richten sich daher nach dem zu erwartenden Strompreis für den Verbraucher und dem erwarteten Marktwert der Anlage, wenn der Strom an der Börse verkauft wird. Der prognostizierte Preiskorridor für PV-Strom liegt für das Jahr 2025 bei 63-88 €/MWh (Energy 2025).

Marktprämienmodell

Anlagen zur Erzeugung von Erneuerbaren Energien, die ab dem 1. Januar 2016 in Betrieb genommen wurden, sind ab einer installierten Leistung von 100 kW nach EEG verpflichtet, ihren Strom direkt zu vermarkten. Im Rahmen einer Auktion der Bundesnetzagentur werden mehrmals im Jahr Bauprojekte für erneuerbare Energien ausgeschrieben. Gebote werden durch Angabe eines Gebotswertes (in ct/kWh) sowie durch Angabe einer Gebotsmenge (Anlagenleistung in kW) abgegeben. Die Gebote mit den niedrigsten Gebotswerten erhalten den Zuschlag, bis die ausgeschriebene Gebotsmenge erreicht ist. Der Strom wird dann durch den Anlagenbetreiber selbst auf den Energiemärkten vermarktet. Zusätzlich zu den Erlösen erhält der Betreiber die Differenz zwischen dem in der Ausschreibung festgelegten Wert und dem erzielten Markterlös in Form einer Marktprämie. Steigen oder fallen die Börsenerlöse, passt sich der Förderbetrag der Marktprämie an – so bleibt die Vergütung für den Förderzeitraum konstant. Da für die Berechnung der Marktprämie der durchschnittliche monatliche Börsenpreis zugrunde gelegt wird, profitieren Anlagenbetreiber, die ihren Strom zu Zeiten verkaufen, in denen die Nachfrage und damit auch der Börsenpreis besonders hoch sind. Andererseits sinkt der Verdienst, wenn der Börsenpreis gering ist und Anlagenbetreiber werden angehalten, ihre Stromproduktion der tatsächlichen Nachfrage anzupassen.

Ein weiteres Risiko besteht darin, dass das Windaufkommen oder die Sonneneinstrahlung über mehrere Jahre nicht den Prognosen und Erwartungen für den Standort entsprechen.

7.2.4 Anwendungsfall PPA: PV-Freiflächenanlage in Graben

Für die in Abschnitt 7.1 beschriebene PV-Freiflächenanlage in Graben ergeben sich dadurch zwei mögliche Betreibermodelle: Für den Fall eines Onsite-PPAs wäre eine Direktleitung zu einem Endverbraucher notwendig. Im dargestellten Beispiel könnte der Strom an einen Abnehmer im Gewerbepark Graben geliefert werden. Für diesen Fall müsste ein Erdkabel auf

einer Länge von etwa 1.200 m verlegt werden. Die dafür prognostizierten Baukosten betragen etwa 250.000 €. Weiterhin entstehen Stromerzeugungskosten von rd. 6,4 ct/kWh (im Mittel über 20 Jahre, ohne Wagnis und Gewinn). Für eine klare Systemtrennung zwischen Zuleitungskabel und Stromverteilsystem beim Abnehmer wurde angenommen, dass nötige Aggregate zur Stromkonditionierung, wie Wechselrichter oder Transformatoren, vom Stromabnehmer installiert werden. Der PV-Anlagenbetreiber verlegt lediglich das Stromkabel bis zur Übergabestelle. Da der Strom nicht über das öffentliche Netz an den Verbraucher geliefert wird, entfallen die Netzentgelte und Abgaben. Die Stromsteuer ist hingegen bei Anlagen ab 2 MW weiterhin zu zahlen (Zoll 2024).

Im Fall eines Offsite-PPAs erfolgt die Übertragung über das öffentliche Stromnetz. Nach Trassenausauskunft der LEW Verteilnetz GmbH liegt der nächstgelegene Anschlusspunkt an das Mittelspannungsnetz in Wehringen. Für den Netzanschluss wäre daher der Bau einer elektrischen Leitung auf einer Länge von etwa 6 km notwendig. Die dafür prognostizierten Baukosten liegen bei 690.000 €. Dazu kommen rund 150.000 € für den Transformator sowie ca. 30.000 € für den Anschluss des Transformators an das Mittelspannungsnetz.

Tabelle 7.3: Vergleich der entstehenden Kosten durch unterschiedliche Vertriebsmodelle

Posten	Einheit	Onsite-PPA	Offsite-PPA
Trassenlänge	m	1.000	6.000
Trassenkosten	€	250.000	697.000
Transformator	€		150.000
Anschlusskosten	€	30.000	30.000
Stromerzeugungskosten	ct/kWh	7,10	* 8,94
Stromsteuer	ct/kWh	2,05	2,05
Netzentgelt	ct/kWh	-	2,33
Konzessionsabgabe	ct/kWh	-	1,59
KWKG-Umlage	ct/kWh	-	0,28
Offshore-Netzumlage	ct/kWh	-	0,82
StromNEV-Umlage	ct/kWh	-	1,56
Stromgestehungskosten Endverbraucher 2025	ct/kWh	9,15	17,57

* Direktvermarktungskosten an der Strombörse enthalten

Der Vergleich der Stromgestehungskosten zeigt, dass eine Direktvermarktung über ein Offsite-PPA zu deutlich höheren Kosten führt, wesentlich bedingt durch die längere Trassenlänge sowie die zusätzlich zu entrichtenden Abgaben und Umlagen. Vor diesem Hintergrund wäre die Direktvermarktung des Stromes an den Gewerbepark Graben über eine direkte Stromleitung– soweit realisierbar – zu präferieren.

7.3 Interkommunaler Grüngut-Verbund

In diesem Schwerpunktprojekt wurde ein interkommunal abgestimmtes Grüngutkonzept untersucht, das eine technisch machbare und wirtschaftliche Lösung zur Nutzung des anfallenden Grünguts aufzeigt.

7.3.1 Analyse

Über einen Fragebogen wurden alle zur Verarbeitung geeigneten Grünabfälle im Betrachtungsraum erhoben. Es handelte sich um 6.700 t/a Grüngut, welches hauptsächlich aus Landschaftspflegematerial der Kommunen und privaten Grünabfällen besteht. Nicht enthalten sind Bioabfälle aus Haushalten oder Gewerbebetrieben. Der mittlere Anteil holziger Stoffe wurde zu 68 % und der Wassergehalt zu 51 % abgeschätzt. Es gab zum Zeitpunkt der Erhebung keine eigenen Behandlungskapazitäten. Die Grünabfälle wurden sämtlich von Entsorgungsdienstleistern abgenommen. Die behandlungsbedürftigen Abfallmengen konzentrieren sich analog zur Bevölkerung im Norden des Betrachtungsraums.

Das anfallende Grüngut ist für eine eigenständige Vergärung nicht gut geeignet. Gründe sind die trockene und holzreiche Substratzusammensetzung, die Saisonalität und die begrenzte Lagerfähigkeit vergärungsfähiger Anteile. Des Weiteren liegt das Mengenaufkommen eher an der unteren Grenze für die Errichtung einer effizienten und wirtschaftlichen Trockenvergärung.

7.3.2 Status Quo

Stand heute wird ein großer Teil der Nassorganik in Bioabfallvergärungsanlagen oder als Co-Substrat in landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit abfallrechtlicher Zulassung verwertet. Es handelt sich um ca. 2.200 t/a krautige, saftende Biomasse mit einem hohen Halmschnittanteil. Die festen Gärreste werden anschließend kompostiert.

7.3.3 Option einer eigenen Vergärungsanlage

Die Eigenbehandlung wäre in einem kleinen Boxenfermenter möglich. Boxenfermenter sind ab 2.000 Jahrestonnen marktverfügbar, weisen jedoch eine vergleichsweise geringe Methanausbeute bei hohem Schlupf auf.

Das Aufgabegut ist aufgrund der hohen Lignin- und Cellulose-Anteile indes nur schwer vergärbar. Eine Zumischung anderer, leicht abbaubarer Substrate (Gülle, Mist, NaWaRo, Bioabfälle) würde die Vergärungsfähigkeit erheblich verbessern. Vergärungsfähige Nebenprodukte oder nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) aus der Landwirtschaft oder von Produktionsbetrieben der Lebensmittelwirtschaft erscheinen geeignet. Dies erfordert jedoch Partner und erzeugt Kosten für die eingesetzten Kosubstrate.

Gemäß der Bioabfallverordnung (BioAbfV) könnte eine Untersuchungspflicht für die Gärreste entstehen, wenn Abfallstoffe in der Vergärung mitbehandelt werden.

Zusammenfassend ist zu folgern: Eine Vergärung kann eine ökologisch sinnvolle, aber vergleichsweise teure Verwertungsalternative darstellen. Sie kann unter den vorliegenden Bedingungen jedoch nicht empfohlen werden.

7.3.4 Konzeption einer Grüngutbehandlung

Ein präferiertes Behandlungskonzept wurde in Abstimmung mit Vertretern der Kommunen erarbeitet. Entscheidungsgrundlage waren mehrere geprüfte und diskutierte Verfahrensalternativen und Standorte.

Das Behandlungskonzept sieht eine Aufteilung von Grüngutmengen auf Königsbrunn und Langerringen zur Kompostierung vor. Die Behandlungstiefe soll jeweils bis zur Erzeugung von

Frischkompost reichen, da dieser als lokal gut absetzbar eingestuft wurde und mit wenig Ressourcenaufwand erzeugt werden kann. Die notwendigen Verfahrensschritte zeigt Abbildung 7.7.



Abbildung 7.7: Verfahrensschritte und Behandlungsumfang der Kompostierung

Die optimalen Einzugsbereiche beider Anlagenstandorte wurde über eine Fahrtzeitenanalyse ermittelt (vgl. Abbildung 7.8). Auf Basis der minimal erforderlichen Transportzeiten wurden die gemeindlichen Mengen den jeweiligen Standorten zugewiesen. Die erforderlichen Transportzeiten wurden ebenfalls geoinformationsgestützt ermittelt.

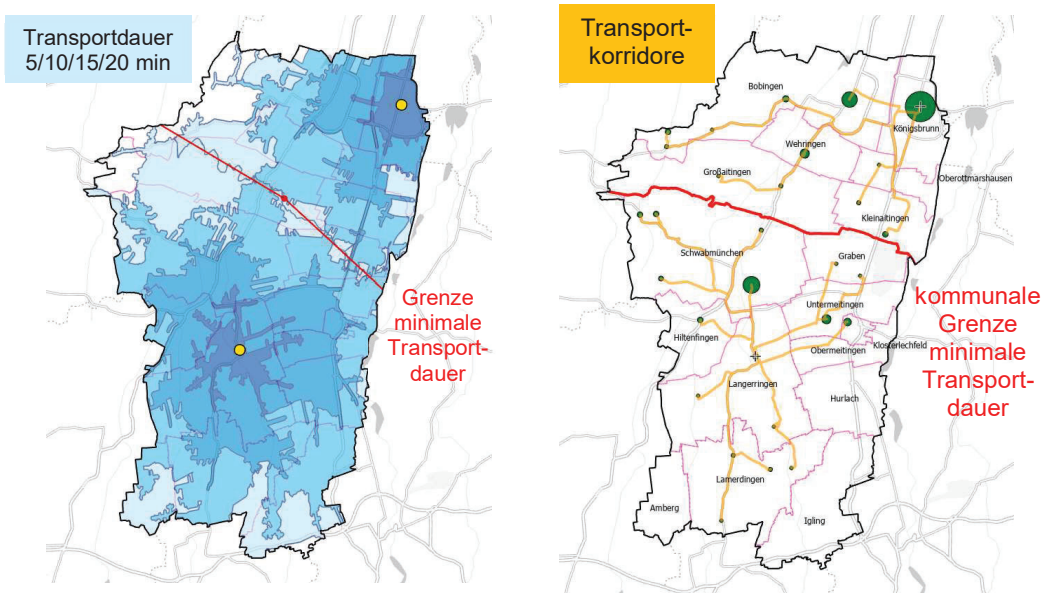


Abbildung 7.8: Transportdauer- und Fahrkorridoranalyse

Neben dem zeitlichen Aufwand für den Transport inkl. Auf- und Abladevorgänge wurden die Fahrtkilometer und die Klimawirkung bilanziert. Die Ergebnisse der Analysen zur Logistik zeigt Tabelle 7.4. Mengen, die bereits vor Ort zusammengefasst werden, wie auch private Anlieferung in den Gemeinden Bobingen und Königsbrunn wurden im Transportaufwand nicht betrachtet.

Tabelle 7.4: Transportbedarf nach Behandlungsszenario

Szenario	Fahrten	Tonnage	Stunden	km	kg $CO_{2,eq}$/a
Gesamt	361	4.545	88	2.926	1.255
Nord	149	2.511	42	1.458	625
Süd	212	2.034	46	1.469	630

Gemäß der ermittelten Verteilung würden In Königsbrunn rund 4.700 t/a (16.300 m³) und in Langerringen 2.000 t/a (6.800 m³) behandelt. Der Flächenbedarf für die Behandlungsanlage liegt insgesamt bei 7.500 m² und wurde nach der Aufstellung in Tabelle 7.5 ermittelt. Im Norden ergibt sich eine Anlagenfläche von insgesamt 5.200 m². Im Süden stehen 5.000 m² zur Verfügung, die bei den aktuellen Mengen nur zu 2.200 m² benötigt wird.

Die Stoffmengenbilanz zur Anlage in Langerringen zeigt Abbildung 7.9. Sie wurde für die Anlage in Königsbrunn analog ermittelt (ohne Abbildung).

Tabelle 7.5: Flächenbedarf der Kompostieranlagen

	Einheit	Nord	Süd
Gleichzeitig auf der Anlage (80%)	m³	13.022	5.445
Rottefläche (Mieten mit Nebenflächen)	m²	3.907	1.633
Anlieferfläche	m²	260	109
Lagerfläche für Fertigkompost	m²	521	218
Zwischenlager- und sonstige Freifläche	m²	521	218
Gesamtbedarf	m²	5.209	2.178

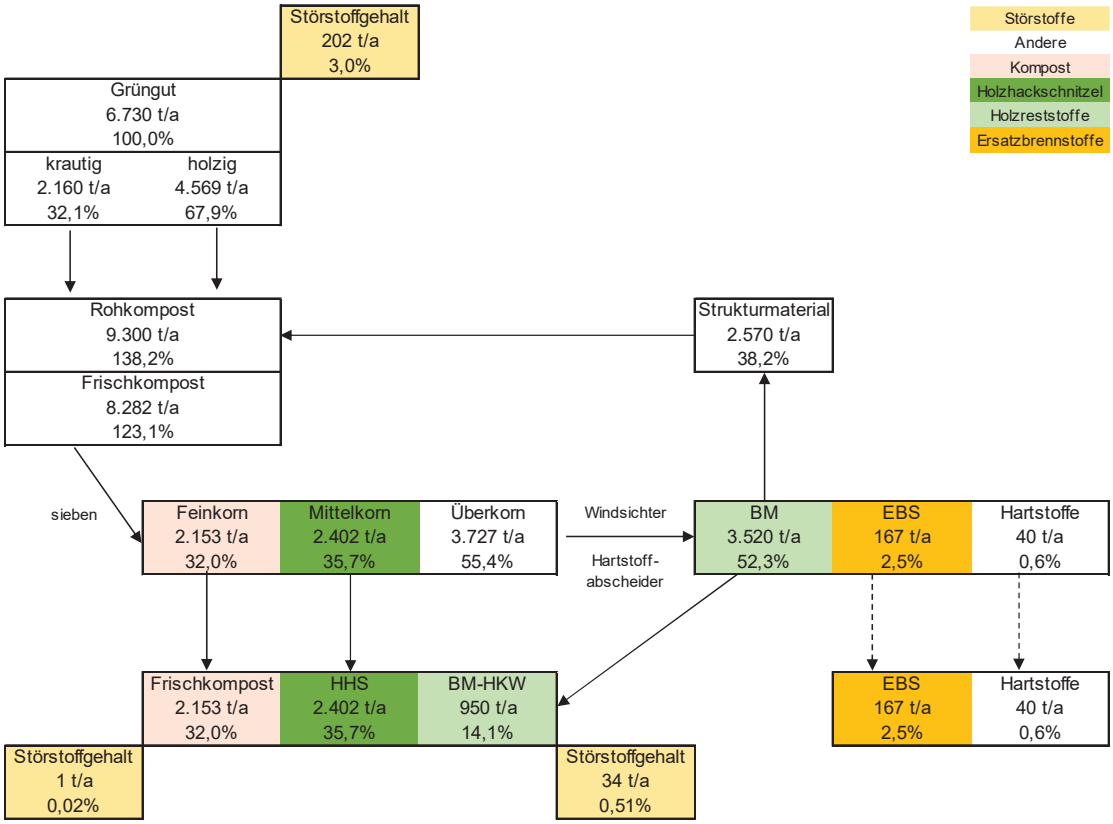


Abbildung 7.9: Stoffmassenbilanz am Beispiel einer Zentralanlage in Langerringen. BM = Biomasse; EBS = Ersatzbrennstoff; HHS = Holzhackschnitzel; BM-HKW = Biomasse-Heiz(kraft)werk

7.3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Ergebnisse aller Vorbetrachtungen gingen in eine wirtschaftliche Bewertung ein. Tabelle 7.6 zeigt die Investitionskosten der Abfallbehandlung an zwei Standorten. Die Kostenansätze beziehen sich auf das Jahr 2024 und fußen auf Recherchen. Beide in Betracht gezogenen Flächen sind bereits versiegelt. In Langerringen ist noch eine Kanalisierung und der Kanalanschluss einzurichten. Der Betrieb soll mit geteilten Aggregaten erfolgen, die für die Standorte noch anzuschaffen sind. Dies ermöglicht eine bessere Ausnutzung der Kapitalgüter. Die Standortverteilung hält die Transportaufwendungen sowohl für die Entsorgungsbetreiber als auch für Abgebende (privat und gewerblich) gering und erhöht hiermit die Akzeptanz der Strukturänderungen in der Bioabfallbehandlung.

Tabelle 7.6: Investitionsbedarf für die Kompostierung an zwei Standorten

		Einheit	**Gesamt** in € (netto)
Infrastruktur	Versiegelung	-	-
	Kanalisierung und -anschluss	für 5.000 m²	180.000
Aggregate	Mietenumsetzer	1 Stk.	180.000
	Wellenzerkleinerer mit Siebanlage	1 Stk.	180.000
	Windsichter	1 Stk.	75.000
	Siebanlage	1 Stk.	120.000
gesamt		-	1.235.000

Die entstehenden Behandlungskosten sind in Abbildung 7.10 dargestellt. Die aktuellen Entsorgungskosten betragen 42,5 €/t. Das entwickelte Konzept zur Grüngutbehandlung kann die Entsorgungskosten im Mittel senken.

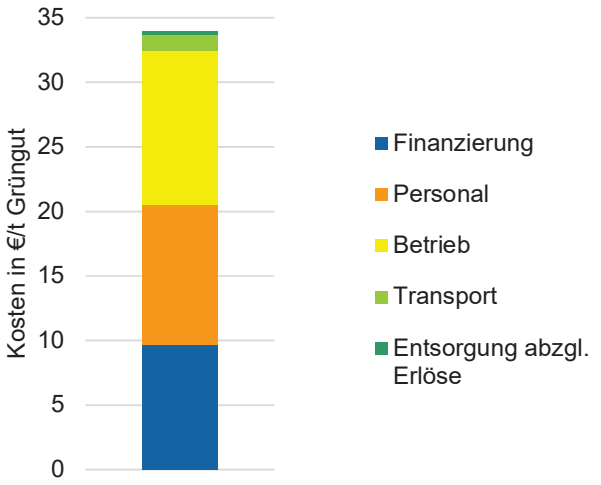


Abbildung 7.10: Entsorgungskosten nach Kostenanteilen für das Grüngutbehandlungskonzept

7.4 Tiefe Geothermie

Eine Nutzung der Tiefengeothermie zur Wärmeversorgung wurde in diesem Projektschwerpunkt konzeptionell ausgearbeitet. Insbesondere wurde ein Aufteilen des Betrachtungsraums in zwei oder drei Versorgungsräume einer Gesamtraum-Versorgung gegenübergestellt. Die Ausarbeitungen sind erste Konzeptionen, die eine wirtschaftliche Einstufung sowie eine vergleichende Bewertung der betrachteten Optionen erlauben.

Die Betrachtungen gehen von einer geothermalen Nutzung von Tiefenwasser aus dem Malm aus (geothermale Wärmenutzung). Alternative Verfahren wie das Hot-Dry-Rock-Verfahren oder das EAVOR-LOOP®-Verfahren werden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet, stellen aber gegebenenfalls Alternativen dar, insbesondere in der Versorgungszone Nord (Bobingen, Königsbrunn und südlich angrenzende Kommunen). Hier sollten Technologien, die keinen weiteren Temperaturhub in der Heißperiode benötigen, langfristig im Hinblick ihrer Risiken, Kosten und Verfügbarkeit beobachtet werden.

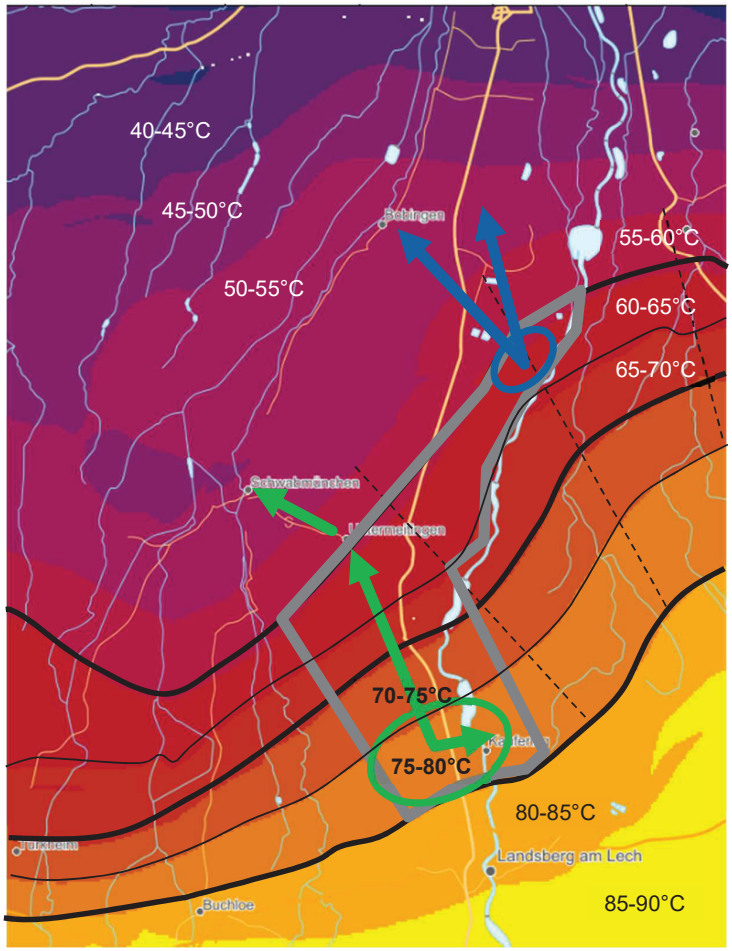


Abbildung 7.11: In Betracht gezogene Aufsuchungszonen (blaue/grüne Kreise) und mögliche Erschließungspfade (blaue/grüne Pfeile) der Geothermie. Identifikation auf Basis der Isothermen (schwarze Linien) auf Niveau des Malms im herausgearbeiteten Untersuchungsgebiet (graue Umrandung). Hintergrundkarte: Horizontalschnitt, Malm (GeotIS, 2024)

Abbildung 7.11 zeigt in den Hintergrundfarben den Temperaturverlauf in Höhe des Malms. Im Bereich zugänglicher, nutzbringender Temperaturen (60-80°C) sind Isothermen als schwarze Linien eingezeichnet. Dünne Linien kennzeichnen Temperatursprünge von 5 K, dickere Linien von 10 K. Der angedachte Aufsuchungsraum ist grau umrandet. Angestrebt werden Temperaturen, die einen geothermalen Sommerbetrieb in der Warmwasserversorgung ermöglichen (≥ 65°C).

Blau in Abbildung 7.11 markiert ist die Aufsuchungszone Nord. Sie weist einen geringen Abstand zu den höchsten Siedlungsdichten im Betrachtungsraum auf (Pfeilmarkierungen Richtung der Städte Königsbrunn und Bobingen). Gleichzeitig liegen hier, dank des ausgeprägten Verlaufs der Isothermen von Südwest nach Nordost, die höchsten im Umfeld erreichbaren Temperaturen vor. Im östlichen Gemeindegrund von Kleinaitingen erscheinen Flächen westlich der Wasserschutzgebiete und nördlich des militärischen Sperrgebiets nutzbar.

Die Aufsuchungszone Süd ist grün markiert. In ihrem Umfeld sind die höchsten Malmtemperaturen (75-80°C) im Untersuchungsraum. Eine ganzjährige, direkte Nutzung zur Warmwasserbereitung und Heizwärmeversorgung erscheint möglich. Zu beachten ist. dass das Fündigkeitsrisiko jedoch nach Süden hin ansteigt. Die Nähe zum bestehenden, biomasseversorgten Wärmenetz der Marktgemeinde Kaufering ermöglicht potenziell und kurzfristig einen Absatz von Grundlastwärme an ein Bestandsnetz. Vorhandene Wärmequellen in Kaufering würden sich als Redundanzen und Spitzenlastaggregate anbieten; dies trägt positiv zu den Netzentwicklungsmöglichkeiten bei. In Richtung der Ortschaften Untermeitingen und Schwabmünchen (lokale Verdichtungsräume) ergibt sich ein attraktiver Erschließungskorridor. Bohrungen lägen außerhalb bestehender Konzessionsgebiete (Stand Oktober 2024).

Erreichbare Förderraten liegen nach Einschätzung der Koordinationsstelle für Tiefengeothermie für eine Bohrung im Norden bei 80 l/s. Zur Anhebung der Nutztemperatur im Winter von 69 °C auf 75 °C wird im Konzept eine ergänzende Wärmepumpenanlage mit einer thermischen Nennleistung von 8,1 MW vorgesehen Dies ermöglicht unter Annahme einer Reinjektionstemperatur von 35 °C, eine Gesamtleistung von 12,6 MW pro Bohrdublette auszuschöpfen.

Im Süden könnten bei einer Fließrate von 60 l/s über eine Bohrdublette 5,7 MW geothermische Wärme bei einer Temperatur von 79 °C ganzjährig direkt genutzt werden. Zur Anhebung der Leistung und zur Vermeidung einer Verdoppelung der benötigten Bohrdubletten können im Süden Wärmepumpenanlagen mit einer thermischen Nennleistung von 5,6 MW eingesetzt werden. Die installierbare Versorgungsleistung steigt in dieser Lage auf insgesamt 13,3 MW.

Tabelle 7.7: Geothermie, technische Kenndaten einer typischen Bohrdublette nach Standort

	Einheit	Nord	Süd, rein geothermal	Süd
Fördermenge	l/s	80	60	60
Tiefster Bohrpunkt unter Geländeoberkante	m	2.000	2.550	2.550
Fördertemperatur	°C	69,0	78,5	78,5
Reinjektionstemperatur	°C	35,0	55,0	35,0
ΔT Rücklauf (55°C)	K	14,0	23,5	23,5
Leistung Geothermie gesamt	MW	11,2	5,7	10,3
Leistung Geothermie Wärmetauscher	MW	4,6	5,7	5,7
Nennleistung Wärmepumpe	MW	8,1	-	5,6
Gesamtleistung	MW	12,6	5,7	11,3

In allen Fällen dient die Tiefengeothermie als Basis der Wärmebereitstellung. In der Heizperiode wird die Grundlast im Norden ergänzend von einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe auf Gebrauchstemperatur angehoben. Im Süden wird eine Leistungsanhebung vorgenommen, um die Bohrquelle bestmöglich zu nutzen. Den Konzepten wurden in allen Fällen große Wärmepumpen hinterlegt, die die Mittellast bereitstellen. Vereinfachend wurde hierbei Luft als Wärmequelle angenommen; diese Wahl kann später lokalspezifisch angepasst werden. Die Spitzenlast (ca. 1 % der Jahresgesamtwärmemenge) kann beispielsweise durch den Einsatz von Heizpatronen (E-Stab) abgedeckt werden.

Aufbauend auf der Einstufung von Siedlungsflächen zur Wärmenetzeignung (Abschnitt 6.5.1) und den hierbei ermittelten Verteilkosten wurden Versorgungsareale für eine großflächige Versorgung als Keimzellen einer sich ausdehnenden Netzversorgung priorisiert. Sie werden folgend als Kernnetze bezeichnet. Ausgegangen wird von einer Anschlussquote von 60 % in der Wohnbebauung.

Potenzielle, technisch-wirtschaftlich aussichtsreiche Wärmenetzumgriffe wurden auf Basis der Bestandsdaten unter Einbezug geeignet erscheinender Aufsuchungs- und Erschließungsareale definiert. Folgende vier Fallkonzepte wurden anschließend wirtschaftlich bewertet:

- Einzelteilnetze Nord und (Mitte oder Süd)
- Gesamtversorgung Nord+Süd, Versorgung über Süd
- Gesamtversorgung Geothermie ohne Wärmepumpenunterstützung
- Zweiteilige Versorgung Nord, Süd

Eine plausible Ausgestaltung der erforderlichen Trassen ist am Beispiel der zweiteiligen Versorgung der Teilnetze Nord und Süd in Abbildung 7.12 abgebildet. Der Zusammenschluss zu einem Gesamtnetz wurde mit einer (nicht dargestellten) Verbindungsleitung zwischen Kleinaitingen und Graben untersucht.

Für die Versorgung des skizzierten Raums werden 4 Bohrdubletten bzw. Geothermieanlagen benötigt. Im Falle einer Geothermienutzung ohne Wärmepumpenunterstützung aus dem Süden (Szenario: Zentral ohne Wärmepumpen) erhöht sich die Anzahl der benötigten Bohrdubletten auf 8. Mit den installierten Anlagen wäre eine Wärmeversorgung der Region möglich, die zu 56-65 % auf der Tiefengeothermie fußt.

Die wirtschaftlichen Ergebnisse für die vier Szenarien sind in Tabelle 7.8 gegenübergestellt. Zugrunde gelegt wurden Kostenansätze für das Jahr 2024 auf Basis von Recherchen.

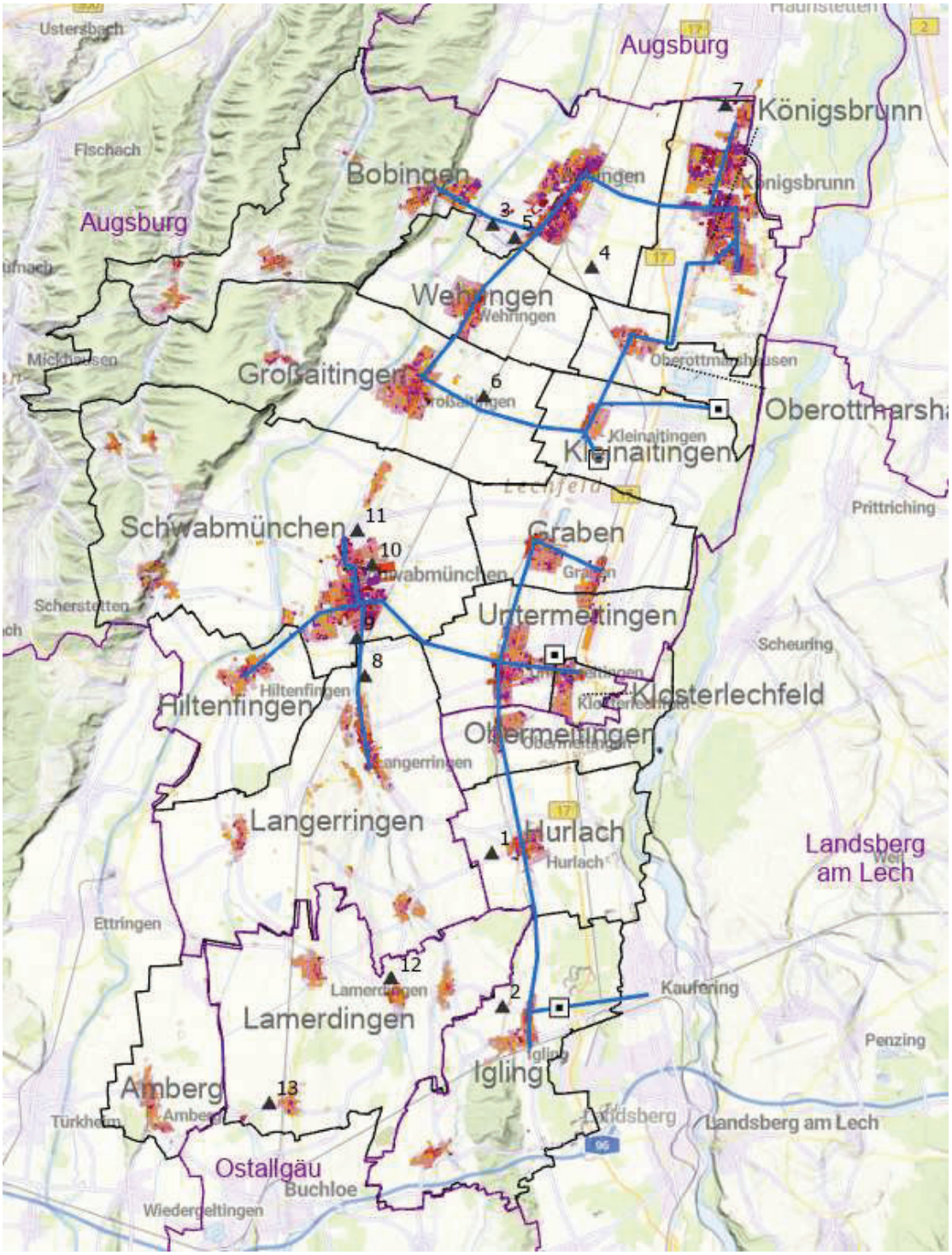


Abbildung 7.12: Wärmenetztrassen (blau) verbinden potentielle geothermische Förderstandorte (schwarz-weiße Punktmarkierung) mit Abnahmezentren. Abgebildet: Zweiteilige Versorgung (Nord und Süd).

Tabelle 7.8: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Ausbauszenarien

Position	Kostenanalyse	Einheit	Gesamt-versor-gung	Gesamt-versor-gung ohne WP*	Zweitei-lige Ver-sorgung	Nord	Süd	Mitte
Investition	Investitionen Verteilung	Mio. €	-558	-558	-554	-300	-254	-216
	Investitionen Erzeugung		-256	-314	-251	-123	-128	-104
	Investition, gesamt		-814	-872	-805	-423	-382	-320
Fremdka-pital	Baukosten-zuschüsse		124	124	124	70	54	49
	Förderung		325	349	322	169	153	128
Kapitalbe-darf	Finanzierung		-364	-400	-359	-184	-175	-143
Jährliche Kosten	Kapitalkosten	Mio. € pro Jahr	7,7	7,9	7,7	4,0	3,7	3,2
	Abschreibungen		17,9	18,2	17,8	9,3	8,5	7,4
	Betriebsführung		5,6	5,6	5,6	3,0	2,6	2,2
	Wartung, In-standh.		5,8	5,9	5,7	3,0	2,8	2,4
	Hilfsenergiekosten		22,2	20,8	24,6	13,5	11,2	8,0
	gesamt		59,2	58,5	61,5	32,8	28,7	23,2
Energie-mengen	Wärmeerzeugung	GWh	494	494	493	245	248	194
	Wärmelefer-menge		411	411	411	201	210	162
Energie-kosten	Wärmegestehung ohne Wagnis und Gewinn	€/MWh	-146	-147	-146	-154	-139	-144

* WP = Wärmepumpe

Die konzeptionellen Analysen lassen folgend Schlüsse zu:

- Alle Szenarien sind mit berechneten Wärmegestehungskosten um die 150 €/MWh gegenüber Einzelgebäudeheizungen konkurrenzfähig.
- Im Vergleich der Einzelnetz-Szenarien (rechte drei Spalten in der Tabelle) stellt sich die hydrothermale Wärmeversorgung im Süden des Betrachtungsraums als günstiger dar als im Norden.
- Die Unterschiede im Investitionsaufwand zwischen den gebündelten Versorgungsszenarien Gesamtversorgung, Gesamtversorgung ohne Wärmepumpen und zweiteilige Versorgung (in der Tabelle blau markiert) sind unter Berücksichtigung der Unschärfen der Ausgangs-Prognosewerte unwesentlich. Die Wirtschaftlichkeit ist hier kein ausschlaggebendes Kriterium für die Konzeptwahl.
- Wichtige andere Bausteine für einen erfolgreichen Versorgungsaufbau sind indes die Etablierung von Kooperationen und der Entwicklungspfad, insbesondere die Möglichkeiten eines gestuften Aufbaus.

- Zur konzeptionellen Weiterentwicklung sollte die Datenbasis der geothermischen Kennwerte abgesichert werden.

7.5 Wärmeverbunde

Wärmeverbundkonzepte für fünf ausgewählte Siedlungsgebiete wurden erstellt und bewertet. Die Auswahl der Siedlungsgebiete erfolgte in Abstimmung mit den Vertretern der Kommunen.

Kalkulationsgrundlage für die nachfolgenden Betrachtungen sind die in Tabelle 7.9 aufgeführten, für das Jahr 2024 angesetzten Kennwerte.

Um die jeweils ermittelten Wärmegestehungskosten der Wärmeverbünde gegenüber Einzelgebäudelösungen einordnen zu können, werden zwei exemplarische Wohngebäude definiert:

- ein Bestandsgebäude mit einem Wärmebedarf von 25.000 kWh/Jahr und
- ein Neubau mit einem Gesamtbedarf von 10.000 kWh/Jahr.

Für beide Gebäudetypen werden je drei Wärmeversorgungsoptionen gegenübergestellt:

- Nahwärme (untersuchte Konzepte)
- Pelletheizung
- Luft-Wärmepumpe

Die Ergebnisse für Bobingen/Wehringen in Abbildung 7.13 illustrieren exemplarisch grundlegende Trends für alle untersuchten Versorgungslösungen.

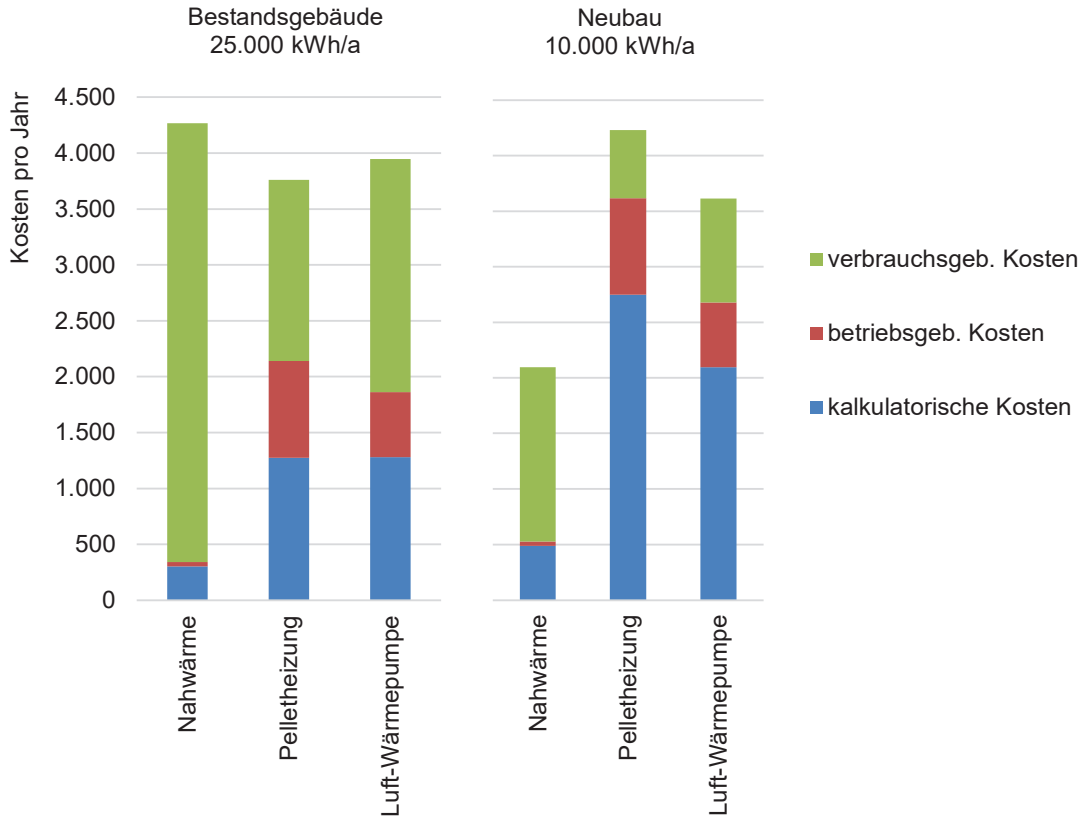


Abbildung 7.13 Vergleich der Kostenanteile für die Wärmeversorgung in Bestand und Neubau im Startjahr der Versorgung

Tabelle 7.9: Kalkulationsannahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Kosten-block	Position	Kenn-wert	Einheit	Bezug
Investition	Übergabestationen, Ein-Dreifamilienhaus	6.000	€/Stk.	
	Übergabestationen, Liegenschaften/Gewerbe	10.000	€/Stk.	
	Heizzentrale, Bauwerk	350	€/kW	
	Netzpumpe	1		Investition: Fernwärmeleitungsnetz
	Zentralwärmespeicher	2		
	MSR-Technik (Messen, Steuern, Regeln)	5		
	Abwärmeleitung	800	€/m	
	Erdwärmesonden	2.000	€/kW	
	Wärmepumpenanlage, inkl. Heizpatrone	1.080	€/kW	
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, Hausanschlüsse	650	€/m	
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, Hauptleitungen	850	€/m	
	Planung und Genehmigung	12%		Gesamt Investition
	Baunebenkosten	10%		
Förderung, Finanzierung	BAFA: BEW-Förderquote	40%		Förderfähige Ausgaben
	jährliche Abschreibung, linear	45	Jahre	
	mittlere Zinskosten	20	Jahre	
	Zinssatz	2,55%		
Betriebskosten 2025-2045	Wartung und Instandhaltung	0,5%		Gesamt Investition
	Betriebsführung, technisch	5	€/m	
	Betriebsführung, kaufmännisch	12	€/m	
	Pumpstrombedarf	2,0%		Nutzwärme
	Stromkosten	30	ct/kWh	
	Wärmeeinkauf (Geothermie)	65	€/MWh	
	Wärmeeinkauf (Biogasanlage)	35	€/MWh	

Die Nahwärmeversorgung ist im Neubau die mit Abstand günstigste und im Bestand eine preislich konkurrenzfähige Versorgungsoption. Diese Verhältnisse bleiben bei Langzeitbetrachtungen über 20 Jahre unverändert.

Die Verbrauchskosten sind innerhalb der Fernwärme der größte Kostenblock. Die betriebsgebundenen Kostenanteile unterscheiden sich im Neubau und Bestand für die jeweilige Versorgungslösung nicht. Für Neubauten gibt es keine Förderung für die Investition in klimafreundliche Heizungslösungen. Dies erhöht die kalkulatorischen Kosten aufgrund der höheren selbst zu tragenden Investitions- und Finanzierungskosten.

7.5.1 Hurlach

Ausbau des bestehenden Wärmenetzes

Im Gemeindegebiet Hurlach versorgt ein Biogasanlagenbetreiber bereits kommunale Gebäude sowie rund 40 Wohngebäude über ein Nahwärmenetz. Die Größe der Anlage lässt ein Potenzial zur Versorgung weiterer Gebäude erwarten, insbesondere in den Sommermonaten und der Übergangszeit. Für die Deckung von Spitzenleistungen könnte bei Bedarf ein zusätzlicher Wärmeerzeuger installiert werden.

Der Ausbau des bestehenden Netzes könnte in folgende Bereiche erfolgen (siehe auch Abbildung 7.14):

- In südlicher Richtung entlang der Iglinger Straße
  (ca. 20 Wohngebäude; Wärmebedarfsprognose 600 MWh/a)
- Entlang der Ringstraße und Sonnenstraße
  (ca. 30 Gebäude; Wärmebedarfsprognose 1.000 MWh/a)

Bei einem anschließenden Ausbau des Wärmenetzes in nördlicher Richtung kann perspektivisch auch der Anschluss weiterer kommunaler Liegenschaften sowie ein Zusammenschluss mit einem möglichen Wärmenetz im Neubaugebiet „Alter Sportplatz“ erfolgen (siehe Maßnahmen W 2.1 und W 2.2 in Abschnitt 8.7).



Abbildung 7.14: Wärmebedarf in Siedlungsflächen in der Gemeinde Hurlach; Wärmebedarf der kommunalen Liegenschaften (blaue Kreise); Bestehendes Versorgungsgebiet der Biogasanlage (lila eingekreist) Mögliche Ausbaugebiete (lila gestrichelte Rechtecke)

Wärmeverbund Neubaugebiet

Die Lage des betrachteten Wärmeverbundnetzes in Hurlach ist in Abbildung 7.15 skizziert. Neben dem Neubaugebiet sollen die folgenden Liegenschafen im Umgriff über ein neu zu bauendes Wärmenetz versorgt werden:

- Feuerwehrhaus 20 kW
- Sportheim 13 kW

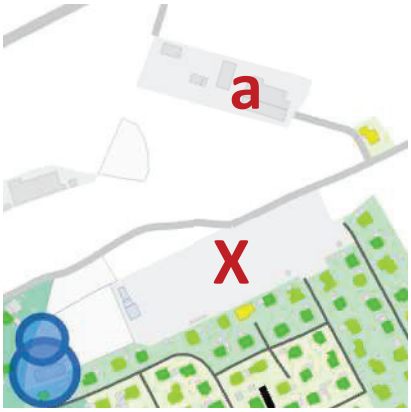


Abbildung 7.15: Das Neubaugebiet (rot: X) in Hurlach und angrenzende Liegenschaften (blaue Kreise) können anteilig von der Biogasanlage (rot: a) versorgt werden

Zur Versorgung vor Ort sollen folgende Wärmequellen genutzt werden:

- Abwärme der nahgelegenen Biogasanlage
- Erdwärmesonden und Sole/Wasser-Wärmepumpen

Zentrale Kennwerte und die Ergebnisse der Kalkulation sind in Tabelle 7.10 zusammengestellt. Es wurden die mittleren Wärmegestehungskosten für 20 Jahre im Rahmen einer Vollkostenrechnung ermittelt.

Weitere Informationen sind im Steckbrief der Maßnahme W 2.1 in Abschnitt 8.7 enthalten.

Tabelle 7.10: Kalkulation Wärmeverbundnetz Hurlach

Kategorie	Position	Einheit	Wert
Wärme	Bedarf	MWh/a	492
	Verluste	MWh/a	89
	Erzeugung	MWh/a	581
Trasse	Hausanschlusslänge, gesamt	m	444
	Trassenlänge	m	450
	Netzgesamtlänge	m	894
Investition	Übergabestationen, Ein-Dreifamilienhaus	€	210.000
	Übergabestationen, Liegenschaften/Gewerbe	€	20.000
	Heizzentrale, Bauwerk	€	110.233
	Netzpumpe	€	6.711
	Speicher	€	13.422
	MSR-Technik	€	33.555
	Abwärmeleitung	€	133.333
	Erdwärmesonden	€	600.000
	Wärmepumpenanlage inkl. Heizpatrone	€	324.000
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, HAL	€	288.600
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, Hauptleitungen	€	382.500
	Planung und Genehmigung	€	209.387
	Baunebenkosten	€	174.489
	GESAMT	€	2.506.230
Förderung	BAFA: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze	€	1.002.492
Baukostenzuschuss	Hausanschlussleistung, Übergabestation	€	299.160
Finanzierungsbedarf	Investition - Förderung - Baukostenzuschuss	€	1.204.578
Kalkulatorische Kosten	jährliche Abschreibung, linear	€/a	26.768
	mittlere Zinskosten	€/a	27.868
	GESAMT	€/a	54.636
Wärmebereitstellung	Abwärme	-	72,1%
	Luft-Wärmepumpen	-	26,8%
	Heizpatrone (Spitzenlast)	-	1,0%
Leistung	Abwärme	kW	75
	Wärmepumpe	kW	300
	Heizpatrone (Spitzenlast)	kW	100
Betriebskosten	Wartung und Instandhaltung	€/a	12.531
	Betriebsführung, technisch	€/a	4.470
	Betriebsführung, kaufmännisch	€/a	10.728
	Stromkosten	€/a	23.779
	Wärmeeinkauf, Abwärme Biogasanlage	€/a	13.784
	GESAMT	€/a	65.292
JÄHRLICHE KOSTEN GESAMT (=Kalkulatorische + Betriebskosten)		€/a	119.929
Wärmegestehungskosten im Mittel über 20 Jahre		€/MWh	244
inkl. 5% Wagnis und Gewinn, bzw. Eigenkapitalrendite		€/MWh	256
Startpreis, kalkulatorisch		€/MWh	205

7.5.2 Oberottmarshausen

Die Lage des betrachteten Wärmeverbundnetzes ist in Abbildung 7.16 skizziert (türkis markierte Gebäude und Straßenzüge). Neben dem Bestandswohngebiet im Nordwesten, sollen die folgenden Liegenschafen im Umgriff versorgt werden

- Bürgerhaus 136 kW
- Schule 70 kW
- Gemeindlicher Neubau (Kirchplatz 2-4) 200 kW (Annahme)
- Kinderkrippe (Geschwister-Scholl-Str. 11) 51 kW
- Kinderkrippe (Geschwister-Scholl-Str. 9) 43 kW

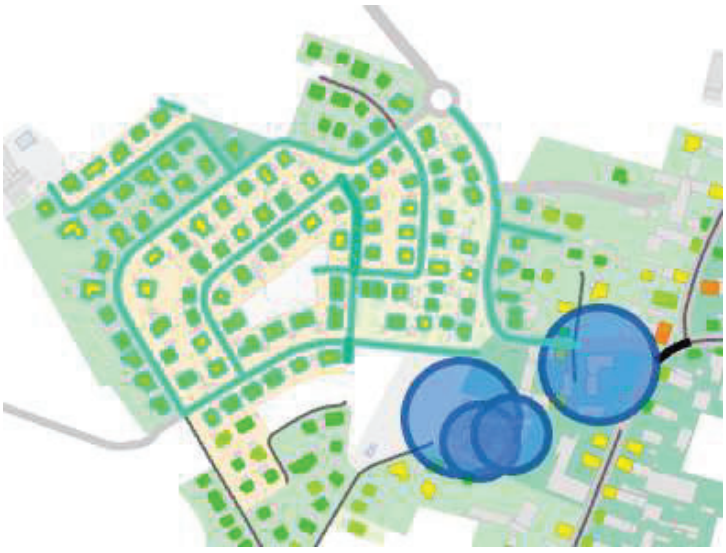


Abbildung 7.16: Der Liegenschaftenverbund (blaue Kreise) Oberottmarshausens ist Ausgangspunkt einer Versorgung der nordwestlichen Bestandsbebauung (türkis umrandete Gebäude und markierte Straßenabschnitte)

Zur Versorgung vor Ort sollen folgende Wärmequellen genutzt werden:

- Erdwärmesonden und Sole/Wasser-Wärmepumpen
- Heizpatrone (sog. E-Stab) zur Spitzenlastabdeckung

Zentrale Kennwerte und die Ergebnisse der Kalkulation sind in Tabelle 7.11 aufgeführt. Es wurden die mittleren Wärmegestehungskosten für 20 Jahre im Rahmen einer Vollkostenrechnung ermittelt.

Exkurs: Nutzung von Holzhackschnitzeln aus Gemeindewald

Die Gemeinde Oberottmarshausen besitzt rund 50 Hektar Gemeindewald. Das bei der Waldpflege anfallende Waldrestholz und Schwachholz aus der Durchforstung kann zu Hackschnitzeln verarbeitet werden (ca. 30 % des jährlichen Holzwuchses) und jährlich rund 360 MWh Nutzwärme bereitstellen.

Tabelle 7.11: Kalkulation Wärmeverbundnetz Oberottmarshausen

Kategorie	Position	Einheit	Wert
Wärme	Bedarf	MWh/a	2.780
	Verluste	MWh/a	500
	Erzeugung	MWh/a	3.280
Trasse	Hausanschlusslänge, gesamt	m	893
	Trassenlänge	m	2.110
	Netzgesamtlänge	m	3.003
Investition	Übergabestationen, Ein-Dreifamilienhaus	€	432.000
	Übergabestationen, Liegenschaften/Gewerbe	€	50.000
	Heizzentrale, Bauwerk	€	490.776
	Netzpumpe	€	23.741
	Speicher	€	47.482
	MSR-Technik	€	118.704
	Erdwärmesonden	€	4.500.000
	Wärmepumpenanlage inkl. Heizpatrone	€	2.430.000
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, HAL	€	580.580
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, Hauptleitungen	€	1.793.500
	Planung und Genehmigung	€	1.045.305
	Baunebenkosten	€	871.088
	GESAMT	€	12.383.175
Förderung	BAFA: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)	€	4.953.270
Baukostenzu-schuss	Hausanschlussleistung, Übergabestation	€	607.548
Finanzie-rungsbedarf	Investition - Förderung - Baukostenzuschuss	€	6.822.357
Kalkulatori-sche Kosten	jährliche Abschreibung, linear	€/a	151.608
	mittlere Zinskosten	€/a	157.836
	GESAMT	€/a	309.444
Wärmebereit-stellung	Luft-Wärmepumpen	-	98,8%
	Heizpatrone (Spitzenlast)	-	1,2%
Leistung	Wärmepumpe	kW	2.250
	Heizpatrone (Spitzenlast)	kW	800
Betriebskos-ten	Wartung und Instandhaltung	€/a	61.916
	Betriebsführung, technisch	€/a	15.016
	Betriebsführung, kaufmännisch	€/a	36.038
	Stromkosten	€/a	427.439
	GESAMT	€/a	540.409
JÄHRLICHE KOSTEN GESAMT (=Kalkulatorische + Betriebskosten)		€/a	849.853
Wärmegestehungskosten im Mittel über 20 Jahre		€/MWh	306
inkl. 5% Wagnis und Gewinn, bzw. Eigenkapitalrendite		€/MWh	321
Startpreis, kalkulatorisch		€/MWh	257

Der Wärmeverbrauch der oben beschriebenen gemeindlichen Liegenschaften liegt bei rund 720 MWh/a. Das im Gemeindewald anfallende Waldrestholz könnte somit knapp 50 % des Jahreswärmebedarfs der gemeindlichen Liegenschaften decken. Dies entspricht einer Holzhackschnitzelheizung mit rund 50 kW Nennleistung.

Würden 63 % des jährlich im Gemeindewald nachwachsenden Holzes zur Beheizung der gemeindlichen Liegenschaften verwendet (geringere stoffliche Holznutzung), so könnte der Wärmebedarf der gemeindlichen Liegenschaften vollständig aus eigens produzierten Holzhackschnitzeln gedeckt werden. Hierfür wäre ein Holzhackschnitzelheizung mit rund 500 kW Nennleistung nötig.

Für das oben betrachtete Wärmeverbundnetz aus gemeindlichen Liegenschaften und Wohngebäuden liegt der jährlich zu erzeugende Wärmebedarf bei 3.280 MWh. Würde das jährlich im Gemeindewald nachwachsende Holz zur Beheizung des Wärmeverbunds verwendet (keine stoffliche Holznutzung), so könnte der Wärmebedarf des Wärmeverbunds zu 37 % aus eigens produzierten Holzhackschnitzeln gedeckt werden. Hierfür wäre eine Holzhackschnitzelheizung mit rund 300 kW Nennleistung nötig.

7.5.3 Graben-Lagerlechfeld

Die Lage des betrachten Wärmeverbundnetzes in Graben-Lagerlechfeld ist in Abbildung *7.17* skizziert (türkis markiert). Neben den Bestandsgebäuden sollen die folgenden Liegenschaften im Umgriff versorgt werden:

- Kindergarten Villa Kunterbunt 55 kW
- Kinderkrippe Wirbelwind 21 kW
- Pfarrheim 34 kW
- Bahnhof 17 kW



Abbildung 7.17: Der Wärmeverbund in Graben-Lagerlechfeld umfasst einen Liegenschaftsverbund (blaue Kreise im Süden des Kartenausschnitts) und bezieht Bestandsbauten im Norden des Ortsteils mit ein (türkis umrandete Gebäude)

Zur Versorgung vor Ort sollen folgende Wärmequellen genutzt werden:

- Erdwärmesonden und Sole/Wasser-Wärmepumpen
- Heizpatrone (sog. E-Stab) zur Spitzenlastabdeckung

Die mittleren Wärmegestehungskosten für 20 Jahre wurden mittels einer Vollkostenrechnung ermittelt. In Tabelle 7.12 sind zentrale Kennwerte und die Ergebnisse der Kalkulation zusammengestellt.

Tabelle 7.12: Kalkulation Wärmeverbundnetz Graben-Lagerlechfeld

Kategorie	Position	Einheit	Wert
Wärme	Bedarf	MWh/a	2.938
	Verluste	MWh/a	529
	Erzeugung	MWh/a	3.466
Trasse	Hausanschlusslänge, gesamt	m	847
	Trassenlänge	m	1.900
	Netzgesamtlänge	m	2.747
Investition	Übergabestationen, Ein-Dreifamilienhaus	€	420.000
	Übergabestationen, Liegenschaften/Gewerbe	€	30.000
	Heizzentrale, Bauwerk	€	528.215
	Netzpumpe	€	21.654
	Speicher	€	43.308
	MSR-Technik	€	108.271
	Abwärmeleitung	€	-
	Erdwärmesonden	€	4.800.000
	Wärmepumpenanlage inkl. Heizpatrone	€	2.592.000
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, HAL	€	550.420
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, Hauptleitungen	€	1.615.000
	Planung und Genehmigung	€	1.096.076
	Baunebenkosten	€	913.397
	GESAMT	€	12.718.342
Förderung	BAFA: Bundesförderung effiziente Wärmenetze	€	5.087.337
Baukostenzuschuss	Hausanschlussleistung, Übergabestation	€	582.252
Finanzierungsbedarf	Investition -Förderung -Baukostenzuschuss	€	7.048.753
Kalkulatorische Kosten	jährliche Abschreibung, linear	€/a	156.639
	mittlere Zinskosten	€/a	163.074
	GESAMT	€/a	319.712
Wärmebereitstellung	Luft-Wärmepumpe	-	98,8%
	Heizpatrone (Spitzenlast)	-	1,2%
Leistung	Luft-Wärmepumpe	kW	2.400
	Heizpatrone (Spitzenlast)	kW	800
Betriebskosten	Wartung und Instandhaltung	€/a	63.592
	Betriebsführung, technisch	€/a	13.734
	Betriebsführung, kaufmännisch	€/a	32.962
	Stromkosten	€/a	451.260
	GESAMT	€/a	561.547
JÄHRLICHE KOSTEN GESAMT (=Kalkulatorische + Betriebskosten)		€/a	881.259
Wärmegestehungskosten im Mittel über 20 Jahre		€/MWh	300
inkl. 5% Wagnis und Gewinn, bzw. Eigenkapitalrendite		€/MWh	315
Startpreis, kalkulatorisch		€/MWh	252

7.5.4 Bobingen-Siedlung, Wehringen

Die Lage des betrachten Wärmeverbundnetzes ist in Abbildung *7.18* skizziert. Neben dem Neubaugebiet (Gewerbe) und einem Großteil von Bobingen-Siedlung (Bestand, türkis markiert) sollen die folgenden Liegenschafen im Umgriff versorgt werden:

- Grundschule Siedlung 180 kW
- Gewerbebauten, neu 998 kW



Abbildung 7.18: Das entstehende Gewerbegebiet (rot: X) in Wehringen und die Grundschule von Bobingen-Siedlung (blauer Kreis) sollen zusammen mit angrenzenden Wohngebäuden (türkis umrandet) über Fernwärme versorgt werden

Zur Versorgung sollen folgende Wärmequellen genutzt werden:

- Abwärme aus dem Kühlkreislauf eines benachbarten Industriebetriebs und Wasser/Wasser-Wärmepumpen. Im Redundanzfall Kühlkreislauf bis Brunnenwassertemperatur.
- Heizpatrone (sog. E-Stab) zur Spitzenlastabdeckung

Zentrale Kennwerte und die Ergebnisse der Kalkulation sind in Tabelle 7.13 aufgeführt. Es wurden die mittleren Wärmegestehungskosten für 20 Jahre im Rahmen einer Vollkostenrechnung ermittelt.

Tabelle 7.13: Kalkulation Wärmeverbundnetz Wehringen/Bobingen

Kategorie	Position	Einheit	Wert
Wärme	Bedarf	MWh/a	9.562
	Verluste	MWh/a	1.721
	Erzeugung	MWh/a	11.283
Trasse	Hausanschlusslänge, gesamt	m	4.333
	Trassenlänge	m	6.300
	Netzgesamtlänge	m	10.633
Investition	Übergabestationen, Ein-Dreifamilienhaus	€	1.806.000
	Übergabestationen, Liegenschaften/Gewerbe	€	20.000
	Heizzentrale, Bauwerk	€	1.249.801
	Netzpumpe	€	81.714
	Speicher	€	163.428
	MSR-Technik	€	408.569
	Abwärmeleitung	€	1.000.000
	Wärmepumpenanlage inkl. Heizpatrone	€	3.888.000
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, HAL	€	2.816.385
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, Hauptleitungen	€	5.355.000
	Planung und Genehmigung	€	1.372.068
	Baunebenkosten	€	1.143.390
	GESAMT	€	19.304.355
Förderung	BAFA: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze	€	7.721.742
Baukostenzuschuss	Hausanschlussleistung, Übergabestation	€	2.773.431
Finanzierungsbedarf	Investition -Förderung -Baukostenzuschuss	€	8.809.182
Kalkulatorische Kosten	jährliche Abschreibung, linear	€/a	195.760
	mittlere Zinskosten	€/a	203.801
	GESAMT	€/a	399.561
Wärmebereitstellung	Abwärme	-	78,3%
	Luft-Wärmepumpen	-	20,6%
	Heizpatrone (Spitzenlast)	-	1,1%
Leistung	Abwärme	kW	1.700
	Wärmepumpe	kW	3.600
	Heizpatrone (Spitzenlast)	kW	2.500
Betriebskosten	Wartung und Instandhaltung	€/a	96.522
	Betriebsführung, technisch	€/a	53.165
	Betriebsführung, kaufmännisch	€/a	127.595
	Stromkosten	€/a	1.110.275
	GESAMT	€/a	1.387.556
JÄHRLICHE KOSTEN GESAMT (=Kalkulatorische + Betriebskosten)		€/a	1.787.116
Wärmegestehungskosten im Mittel über 20 Jahre		€/MWh	187
inkl. 5% Wagnis und Gewinn, bzw. Eigenkapitalrendite		€/MWh	196
Startpreis, kalkulatorisch		€/MWh	157

7.5.5 Kleinaitingen

Die Lage des betrachten Wärmeverbundnetzes ist in Abbildung 7.19 skizziert (türkis markiert). Neben dem Bestandswohngebiet sollen die folgenden Liegenschaften im Umgriff versorgt werden:

- Rathaus, Feuerwehr 72 kW
- Mehrzweckhalle 82 kW
- Kindergarten 40 kW
- Bauhof 36 kW



Abbildung 7.19: Der Wärmeverbund Kleinaitingen umfasst den gesamten Kernort mit allen Liegenschaften.

Zur Versorgung vor Ort werden in Szenario A folgende Wärmequellen genutzt:

- Tiefengeothermie mit unterstützendem Wärmepumpeneinsatz

In Szenario B sind folgende Wärmequellen vorgesehen:

- Tiefengeothermie mit unterstützendem Wärmepumpeneinsatz
- Abwärme aus der Biogasanlage vor Ort, die bereits im Umfeld Bestandsgebäude versorgt

Zentrale Kennwerte und die Ergebnisse der Kalkulation sind in Tabelle 7.14 dargelegt. Die mittleren Wärmegestehungskosten für 20 Jahre wurden im Rahmen einer Vollkostenrechnung für zwei Versorgungsszenarios ermittelt.

Tabelle 7.14: Kalkulation Wärmeverbundnetz Kleinaitingen

			Szenario A ohne BGA	Szenario B mit BGA
Kategorie	**Position**	**Einheit**	**Wert**	**Wert**
Wärme	Bedarf	MWh/a	6.872	
	Verluste	MWh/a	1.237	
	Erzeugung	MWh/a	8.108	
Trasse	Hausanschlusslänge, gesamt	m	3.075	
	Trassenlänge	m	7.410	
	Netzgesamtlänge	m	10.485	
Investition	Übergabestationen, Ein-Dreifamilienhaus	€	1.464.000	
	Übergabestationen, Liegenschaften/Gewerbe	€	40.000	
	Heizzentrale, Bauwerk	€	916.962	
	Netzpumpe	€	82.974	
	Speicher	€	165.948	
	MSR-Technik	€	414.869	
	Abwärmeleitung	€	320.000	
	Wärmepumpenanlage inkl. Heizpatrone	€	3.672.000	
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, HAL	€	1.998.880	
	Leitungsbau und Tiefbauarbeiten, Hauptleitungen	€	6.298.500	
	Planung und Genehmigung	€	1.089.076	
	Baunebenkosten	€	907.563	
	GESAMT	€	17.370.771	
Förderung	BAFA: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze	€	6.948.308	
Baukosten-zuschuss	Hausanschlussleistung, Übergabestation	€	2.077.728	
Finanzie-rungsbedarf	Investition -Förderung -Baukostenzuschuss	€	8.344.735	
Kalkulatori-sche Kosten	jährliche Abschreibung, linear	€/a	185.439	
	mittlere Zinskosten	€/a	193.056	
	GESAMT	€/a	378.495	
Wärmebe-reitstellung	Abwärme	%	0	31,7
	Wärmepumpen	%	7,2	5,2
	Geothermie	%	92,8	63,1
Leistung	Geothermie	kW	2.200	2.200
	Abwärme Biogasanlage	kW	0	320
	Wärmepumpen	kW	3.400	3.400
Betriebskos-ten	Wartung und Instandhaltung	€/a	86.854	
	Betriebsführung, technisch	€/a	52.426	
	Betriebsführung, kaufmännisch	€/a	125.822	
	Stromkosten	€/a	297.459	216.092
	Wärmeeinkauf, Biogasanlage + Geothermie	€/a	178.659	211.977
	GESAMT	€/a	741.220	693.172
JÄHRLICHE KOSTEN GESAMT (=Kalkulatorische + Betriebskosten)		€/a	1.119.715	1.071.667
Wärmegestehungskosten im Mittel über 20 Jahre		€/MWh	163	156
inkl. 5% Wagnis und Gewinn, bzw. Eigenkapitalrendite		€/MWh	171	164
Startpreis, kalkulatorisch		€/MWh	137	131

Eine Versorgung mit Integration der Biogasanlage (mit rd. 2.600 MWh/a) sorgt für hohe Volllaststunden des BHKW (>8.000h/a). Die Mittellast wird zu 63,1 % von der wärmepumpengestützten (Temperaturhub) Tiefengeothermie aus den Bestandsbohrungen vor Ort gedeckt. Hauptsächlich auf Grund der angenommenen, niedrigeren Wärmebezugskosten der Biogasanlage erweist sich das Szenario B als wirtschaftlich attraktiver. Beide Varianten erscheinen umsetzungsfähig und erreichen marktgängige Preise.

7.5.6 Fazit: Wärmeverbunde

Der Vergleich der relativen Wärmegestehungsvollkosten für die Versorgung von Bestandsgebäuden über Einzelhauslösungen (Tabelle 7.15) und über Nahwärmenetze (vgl. Tabelle 7.16) zeigt, dass die Fernwärmekonzepte im Neubau für alle untersuchten Netze wirtschaftlich tragfähig sind. Zur Versorgung von Bestandsgebäuden ist die Nahwärme in den Netzen für Bobingen/Wehringen, Hurlach und Kleinaitingen konkurrenzfähig.

Für die Netze in Graben und Oberottmarshausen stehen mit Pelletheizungen und Luft-Wärmepumpen kostengünstigere Versorgungslösungen für Bestandsgebäude zur Verfügung. Die Gewinnung einer ausreichend hohen Zahl an Anschlussnehmern ist in diesen Gebieten fraglich. Die Einbindung von Holzhackschnitzeln in die Wärmeerzeugung in Graben und Oberottmarshausen könnte die Wärmegestehungskosten der Netze verringern, ist im Hinblick auf Verfügbarkeit und Versorgungssicherheit jedoch kritisch zu prüfen.

Die Wärmegestehungsvollkosten in Tabelle 7.15 berechnen sich aus den Jahreskosten der jeweiligen Wärmeversorgungsoption in Bezug auf den Wärmebedarf. Beide Werte finden sich zu Beginn des Abschnitts 7.5.

Tabelle 7.15 Relative Kosten für Einzelhauslösungen nach Energieträger

Einzelhauslösung	**Neubau**	**Bestand**
	Startpreis in €/MWh	
Pellets	423	150
Luftwärmepumpe	361	158

Tabelle 7.16 Relative Kosten für Nahwärmenetze und Abwägung alternativer Einzelgebäudeversorgung

Nahwärme	**Startpreis** in €/MWh	**Im Neubau konkurrenzfähig**	**Im Bestand konkurrenzfähig**
Bobingen/Wehringen	157	Ja	Ja
Graben, Lagerlechfeld	252	Ja	Nein
Hurlach	205	Ja	(nur Neubau)
Kleinaitingen	137	Ja	Ja
Oberottmarshausen	257	Ja	Nein
Kleinaitingen (Biogas + Geothermie)	131	Ja	Ja

8 Maßnahmen

Auf Basis des Strom- und Wärmetransformationspfades und der Wärmewendestrategie wurden Maßnahmenvorschläge erarbeitet, die in den Abschnitten 8.3 bis 8.7 in Steckbriefen detailliert sind. Die Maßnahmen dienen dazu, vom Ist-Zustand ausgehend den Entwicklungspfad zu beschreiten. Die Entwicklung, Detaillierung und Gewichtung der Maßnahmen erfolgte in Zusammenarbeit mit den Kommunen und lokalen Akteuren der Energiewende im Rahmen des Beteiligungsprozesses (s. Kapitel 2). Dieses Einbeziehen der Akteure unterstützt die lokale Passgenauigkeit und Anschlussfähigkeit der Maßnahmen. Tabelle 8.1 zeigt die entwickelten Maßnahmen in der Übersicht.

Tabelle 8.1: Übersicht der Maßnahmen

Bereich	Maßnahme	
Verwaltung, Klimamanagement	V1	Kommunales Energiemanagement
	V2	Klimaschutz-Verstetigung und Controlling
	V3	Klimagerechte Bauleitplanung
Kommunale Energieoptimierung	K1	Energetische Sanierung ausgewählter kommunaler Liegenschaften
	K2	Energiesparende Straßen und Außenbeleuchtung
	K3	Wärmepotenzial aus Oberflächengewässern
	K4	Potenzialermittlung für Wärme aus Abwasser
	K5	Energetische Optimierung von Kläranlagen
Information, Beratung	B1	Gebäude-Check (aufsuchende Energieberatung)
	B2	Klimabildung in der Schule
	B3	Klimaschutzkommunikation, Information und Motivation
Ausbau erneuerbarer Energien	E1	Kommunale Steuerung des Zubaus von PV-Freiflächenanlagen
	E2	Ausbau der Windkraft
	E3	Bündelung von Netzanschlusspunkten für neue PV-Freiflächen- und Windkraftanlagen
	E4	Nutzungskonzepte für Biogasanlagen
	E5	PV-Freiflächenanlage Graben
Wärmeversorgung	W1	Tiefengeothermie
	W2.1	Wärmeverbund Hurlach Neubaugebiet
	W2.2	Ausbau bestehendes Wärmenetz Hurlach
	W3	Wärmeverbund Oberottmarshausen
	W4	Wärmeverbund Graben-Lagerlechfeld
	W5	Wärmeverbund Bobingen Siedlung und Wehringen
	W6	Wärmeverbund Kleinaitingen
	W7	Nutzungsmöglichkeiten von Abwärmepotenzialen prüfen

In den Steckbriefen in Abschnitt 8.3 bis 8.7 wurden Maßnahmen aufgenommen, die von mindestens vier Kommunen priorisiert wurden. Einzelne Kommunen interessierten sich darüber hinaus auch für folgende Themen:

- Kommunale Klimaschutzziele und Emissionsmonitoring
- Prüfung der Klimarelevanz für Beschlüsse der Gemeindegremien
- Personal für Klimaschutzmanagement einstellen
- Nachhaltige Beschaffung

Die Realisierbarkeit der Maßnahmen hängt jeweils von den aktuellen Rahmenbedingungen ab (Abgaben, Verordnungen, Bevölkerungsbewusstsein). Die Beschreibung der technischen Potenziale und der heutigen Einschränkungen sind somit in Zukunft auf Veränderungen hin zu prüfen, um die Entwicklung der Umsetzungspotenziale aktuell zu halten.

8.1 Fokusgebiete einer klimafreundlichen Wärmeversorgung

Zum Aufbau zentraler Wärmeversorgungsstrukturen liegen die größten Abnahmepotenziale in dicht besiedelten Räumen. Mit Blick auf den Gesamtbetrachtungsraum werden als Fokusgebiete einer klimafreundlichen Wärmeversorgung deshalb die Städte Bobingen, Königsbrunn und Schwabmünchen vorgeschlagen. In diesen Kommunen besteht über die Hälfte des Wärmebedarfs für Wohnen innerhalb des Betrachtungsraums. Nachfolgend werden diese Fokusgebiete beschrieben.

Aus Sicht einzelner Gemeinden sollten zudem die im Abschnitt 7.5 analysierten und in den Maßnahmen W2.1 bis W6 angesprochenen Wärmenetzvorschläge verfolgt werden.

Bobingen

Bobingen besteht aus dem Kernstadtgebiet, der Bobinger Siedlung und einzelnen Ortsteilen mit dörflichem Charakter. Der Wärmebedarf für Wohnen im Kernstadtgebiet liegt bei rund 100.000 MWh. Im Nordwesten von Bobingen wird ein Neubaugebiet und das östlich angrenzende Wohngebiet mit Wärme aus einer Biogasanlage versorgt.

Das in Abbildung 8.1 eingerahmte Gebiet könnte als Ausgangsareal für den Aufbau einer zentralen Wärmeversorgung geprüft werden. Der Wohnwärmebedarf in diesem Gebiet liegt bei knapp 15.000 MWh/a. Zusätzlich können in diesem Areal öffentliche Liegenschaften mit einem Wärmebedarf von in Summe 4.500 MWh/a angeschlossen werden.

Ein weiterer Ausbau des Netzes in angrenzende Wohngebiete und das östlich gelegene Gewerbegebiet ist möglich. Als mögliche Wärmequellen können die in Abschnitt 4.7 aufgeführten Abwärmequellen in Bobingen geprüft werden.



Abbildung 8.1: Fokusgebiet klimafreundliche Wärmeversorgung Bobingen (lila gestrichelte Umrandung)

Königsbrunn

In Königsbrunn bestehen bereits zwei Wärmeverbunde. Um die Kirche St. Ulrich werden kirchliche Liegenschaften mittels Kraft-Wärme-Kopplung versorgt. Nördlich davon versorgt ein größerer Netzverbund das Gymnasium, umliegende Liegenschaften und rund 600 Haushalte. Als Wärmequellen dienen Grundwasser-Wärmepumpen, erdgasbetriebene BHKW und Spitzenlasterzeuger.

Das in Abbildung 8.2 eingerahmte Gebiet zwischen der Bürgermeister-Wohlfahrt-Straße im Westen, der Raiffeisenstraße und Egerländer Straße im Norden und der Rathausstraße im Süden könnte als Ausgangsareal für den Aufbau einer zentralen Wärmeversorgung geprüft werden. Der Wohnwärmebedarf in diesem Gebiet liegt bei rund 15.000 MWh/a. Zusätzlich können in diesem Areal öffentliche Liegenschaften mit einem Wärmebedarf von in Summe 5.000 MWh/a angeschlossen werden.

Ein weiterer Ausbau des Netzes in angrenzende Wohngebiete in nördlicher und südlicher Richtung ist möglich. Ein Zusammenschluss mit den bestehenden Wärmenetzen denkbar. Als Wärmequellen könnten die lokalen Biogasanlagen in das Versorgungskonzept einbezogen werden.

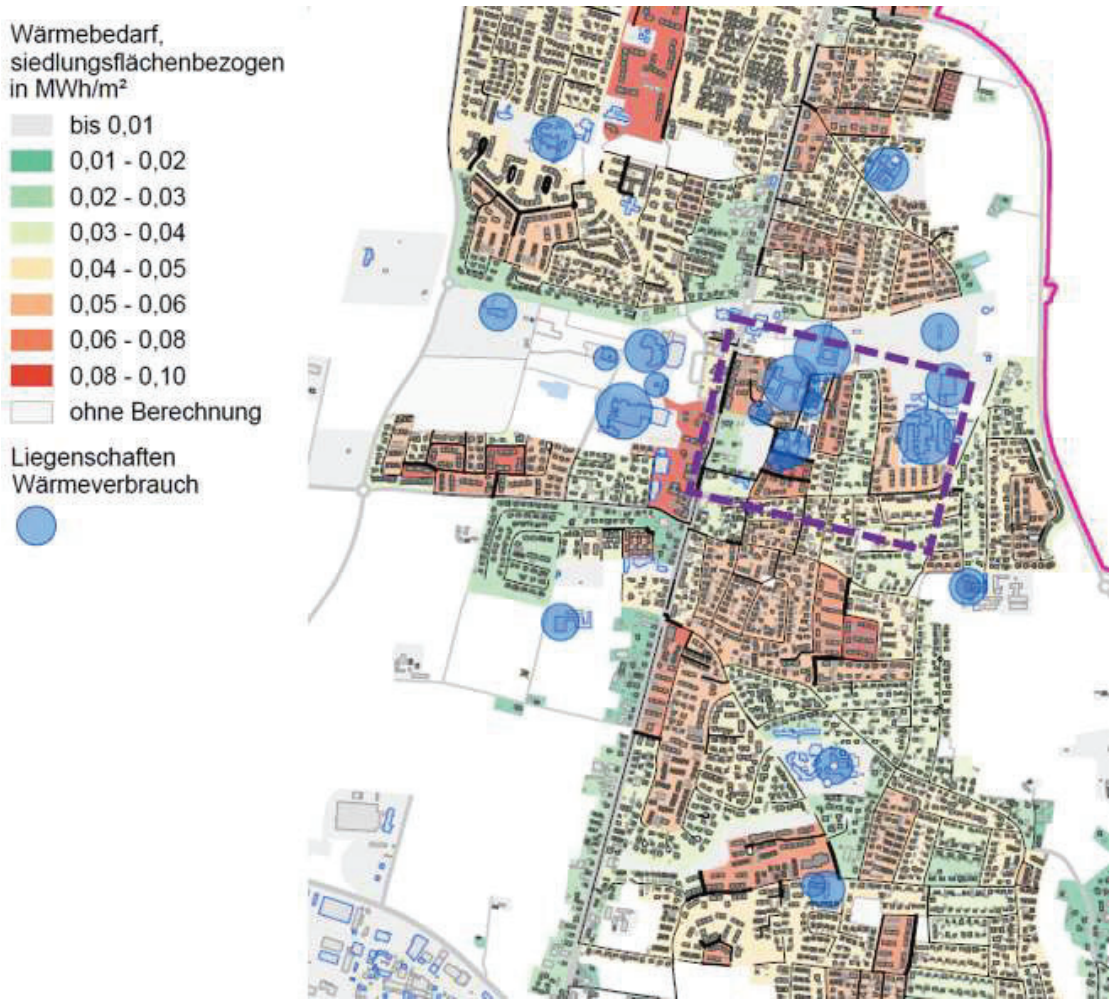


Abbildung 8.2: Fokusgebiet klimafreundliche Wärmeversorgung Königsbrunn (lila gestrichelte Umrandung)

Schwabmünchen

Schwabmünchen besteht aus dem Kernstadtgebiet und einzelnen Ortsteilen mit dörflichem Charakter. Der Wärmebedarf für Wohnen im Kernstadtgebiet liegt bei rund 100.000 MWh. Im Südwesten von Schwabmünchen wird ein Neubaugebiet mit Abwärme aus einem Industriebetrieb versorgt. Derzeit wird eine Machbarkeitsstudie erstellt, um die zentrale Wärmeversorgung in der Stadt auszubauen.

Eine zentrale Wärmeversorgung könnte insbesondere in den eingerahmten Bereichen in Abbildung 8.3 gestartet werden. Der Wohnwärmebedarf in diesem Gebiet liegt bei knapp 15.000 MWh/a. Zusätzlich können in diesem Areal öffentliche Liegenschaften mit einem Wärmebedarf von in Summe 1.600 MWh/a angeschlossen werden. Durch Integration der öffentlichen Liegenschaften am Schulzentrum können weitere gut 3.000 MWh/a Wärme einbezogen werden.

Ein weiterer Ausbau in angrenzende Wohngebiete ist möglich. Der Ausbau kann entweder ausgehend vom bestehenden Wärmenetz oder parallel mit einem perspektivischen Zusammenschluss erfolgen. Als Wärmequellen können die lokalen Biogasanlagen oder Abwärmequellen (s. Abschnitt 4.7) geprüft werden.

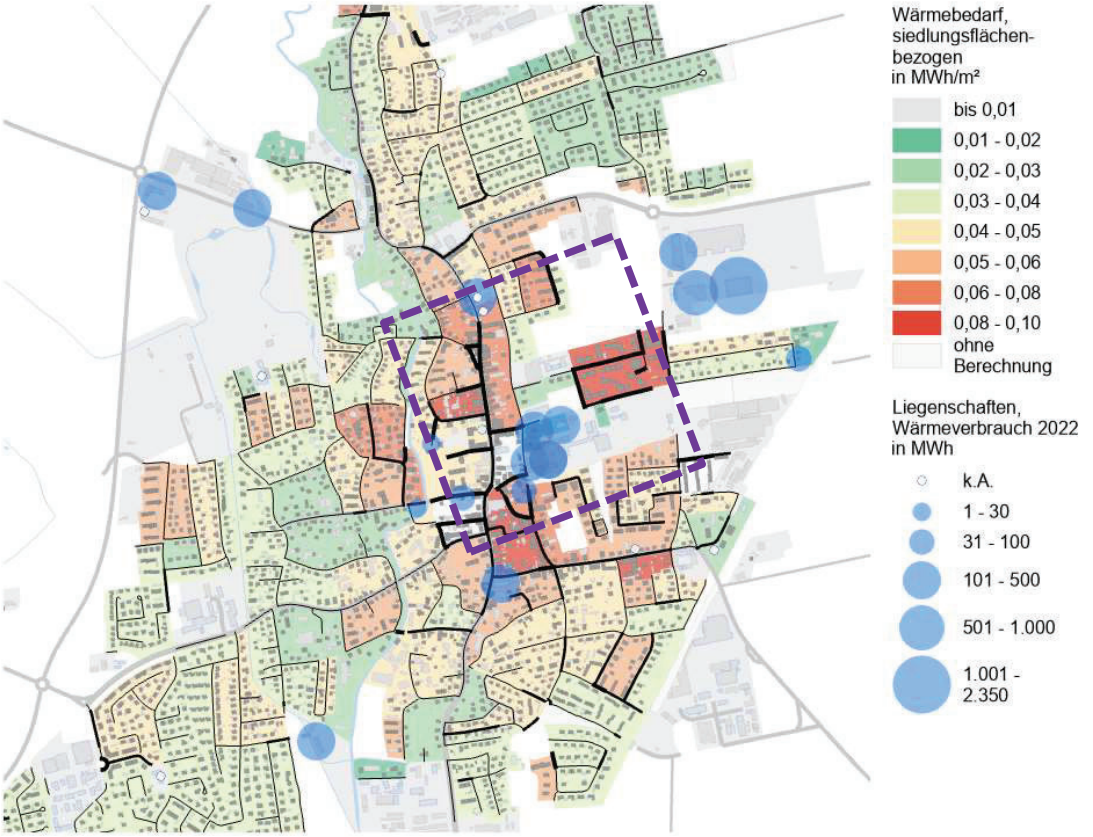


Abbildung 8.3: Fokusgebiet klimafreundliche Wärmeversorgung Schwabmünchen (lila gestrichelte Umrandung)

8.2 Interkommunale Zusammenarbeit

Bei einer Reihe von Maßnahmen kann eine koordinierte, interkommunale Umsetzung Aufwand reduzieren und Synergien fördern, insbesondere bei den Maßnahmen:

- Kommunales Energiemanagement (Maßnahme V1 in Abschnitt 8.3)
- Klimagerechte Bauleitplanung (Maßnahme V3 in Abschnitt 8.3)
- Wärmepotenzial aus Oberflächengewässern (Maßnahme K3 in Abschnitt 8.4)
- Gebäude-Check – aufsuchende Energieberatung (Maßnahme B1 in Abschnitt 8.5)
- Bildung, Information und Motivation (Maßnahmen B3 in Abschnitt 8.5)
- Steuerung des Zubaus von PV-Freiflächenanlagen (Maßnahme E1 in Abschnitt 8.6)
- Ausbau der Windkraft (Maßnahme E2 in Abschnitt 8.6)
- Energetische Optimierung von Kläranlagen (Maßnahme K5 in Abschnitt 8.4)
- Bündelung von Netzanschlusspunkten für PV-Freiflächen- und Windkraftanlagen (Maßnahme E3 in Abschnitt 8.6)

Zudem ist ein regelmäßiger Austausch zum Sachstand von Maßnahmenumsetzungen und zu Erfahrungen im Klimaschutz zu empfehlen. Nahe liegt, vorhandene Zusammenschlüsse zu nutzen (LAG Begegnungsland Lech-Wertach, ILE „Zwischen Lech und Wertach“, Regionalwerk Lech-Wertach-Stauden).

8.3 Verwaltung, Klimamanagement

V1 Kommunales Energiemanagement

Beschreibung	Das Kommunale Energiemanagement (KEM) ist ein Instrument zur Unterstützung einer systematischen energetischen Optimierung aller Liegenschaften. Der fortlaufende Managementzyklus umfasst die Aktivitäten Zielsetzung, Steuerung von Maßnahmen, Umsetzung und Kontrolle. Basisinhalte des KEM sind: ▪ Verbrauchsmonitoring: Verbrauchserfassung, witterungsbereinigte Auswertung, Ergebnisdarstellung ▪ Jährlicher Energiebericht, Erfolgskontrolle, kritische Analyse und Erörterung von Handlungsbedarf Weitere abdeckbare Handlungsbereiche sind: ▪ Energiebeschaffung: Prüfung von Lieferverträgen, Energieeinkauf ▪ Gebäudeanalyse: Erfassung wichtiger Gebäudedaten (baulicher Zustand, technische Gebäudeausstattung etc.), Ermittlung von Energiekennwerten, Bewertung ▪ Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung: Erfassung (Typ, Ausführung, Alter), Optimierung des Anlagenparks ▪ Nutzungsoptimierung: optimale Belegung von Gebäuden, bedarfsorientierter Anlagenbetrieb ▪ Schulung des Betriebspersonals ▪ Information und Motivation der Nutzer (Angestellte, Externe) ▪ Maßnahmenplanung: ökonomische und ökologische Bewertung, Priorisierung, Sanierungsplanung, Finanzierungsplanung Eine KEM-Software kann die Ausführung unterstützen. Bei kleiner Anzahl an Liegenschaften kann ein eigenes Erfassungs- und Auswertesystem auf Tabellenbasis ausreichen. 13 Gemeinden im Betrachtungsraum bewerten eine interkommunale Zusammenarbeite beim KEM als interessant. Die Stadt Königsbrunn könnte mit seinen Erfahrungen aus dem bestehenden KEM als Schlüsselakteur fungieren.
Wirkung/Funktion	▪ Zielgerichtete und kosteneffiziente Planung und Steuerung der Gebäudesanierung und der Umstellung auf erneuerbare Energien
Initiator	▪ Bauverwaltung
Akteure	▪ Bauverwaltung ▪ Gebäudezuständige ▪ Bürgermeister bei Initiierung interkommunaler Zusammenarbeit
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Ausarbeitung des Konzepts, Gemeinderatsbeschluss für den Folgehaushalt ▪ Lastenheft für das Erfassungs- und Auswertesystem erstellen, dieses etablieren ▪ Zuständige benennen und gegebenenfalls schulen ▪ Managementabläufe und Kommunikationspfade festlegen
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungsunterstützung	-
Klimaschutzrelevanz	■■■□□
Erfolgsindikatoren	▪ KEM ist etabliert ▪ Energiebericht liegt vor
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Amberg, Hiltenfingen, Kleinaitingen, Königsbrunn, Lamerdingen, Langerringen, Obermeitingen, Oberottmarshausen, Untermeitingen, Wehringen ▪ Regionalwerk, ILE und Begegnungsland
Hinweise	▪ Ein KEM kann den Wasserverbrauch und andere Ressourcenverbräuche miterfassen. ▪ Hinweise: www.energieatlas.bayern.de/kommunen/energiemanagement

V2 Klimaschutz-Verstetigung und -Controlling

Beschreibung	Klimaschutz ist eine Managementaufgabe, zu der Aufgaben, Zuständigkeiten und Arbeitsabläufe festzulegen sind. Ein Klimaschutzmanagement soll etabliert werden. Als einfachste Form der Umsetzung kann Klimaschutz als zusätzliche Zielkategorie in die Verwaltungsarbeiten aufgenommen werden. Es ist jedoch weitergehend eine Organisationsstruktur mit definierten personellen Verantwortlichkeiten zu empfehlen, bei größeren Kommunen oder im Zusammenschluss mehrerer Kommunen auch durch zusätzliches Personal. Grundlage für das Klimaschutzmanagement und zugleich Erfolgsindikatoren sind Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen. Um die Änderung der Treibhausgasemissionen über die Zeit belastbar bewerten zu können, ist ein standardisiertes Bilanzierungsvorgehen notwendig. Ein etablierter Standard ist die Bilanzierungssystematik kommunal (BISKO). Die Datenerfassung und -auswertung kann verwaltungsintern oder über einen externen Dienstleister wiederkehrend erfolgen. Softwarelösungen zur Bilanzierung können in Betracht gezogen werden. Ein kommunales Energiemanagement (Maßnahme V1) deckt bereits den Teilaspekt eines Energiemonitorings der gemeindlichen Liegenschaften ab. Ein Klimaschutz-Controlling-Zyklus enthält folgende Elemente: ▪ Prüfen und gegebenenfalls Aktualisieren der Klimaschutzziele (Soll) ▪ Aktualisieren der Bestands- und Potenzialanalyse ▪ Erstellen der Energie- und Treibhausgasbilanz (Ist) ▪ Ableiten von Maßnahmen zur Verringerung der Soll-Ist-Abweichung ▪ Umsetzen der Maßnahmen Die wiederkehrende Erhebung und Auswertung in einem Abstand von 2-3 Jahren wird vorgeschlagen. § 25 Wärmeplanungsgesetz gibt für kommunale Wärmepläne eine Aktualisierung spätestens alle 5 Jahren vor.
Wirkung/Funktion	▪ Klimaschutz wird als fortdauernde Aufgabe anerkannt ▪ Klimaschutz wird systematisch und effizient bearbeitet ▪ Stand und Erfolge werden auf solider Datenbasis bewertet
Initiator	▪ Gemeindeverwaltung
Akteure	▪ Gemeindeverwaltung ▪ KlimaschutzmanagerIn
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Etablieren eines Klimaschutz-Managements ▪ Zyklische Durchführung des Controllings
Kosten für Kommune	□□□□□ bis ■■□□□
Finanzierungsunterstützung	Für eine weitergehende Förderung kommt in Frage: ▪ Kommunalrichtlinie des BMWK, u.a. Energiemanagement, Klimaschutzmanagement
Klimaschutzrelevanz	■■■■□
Erfolgsindikatoren	▪ Klimaschutz-Aufgaben sind definiert, Zuständigkeiten sind zugewiesen ▪ Funktionierendes Controlling ist etabliert ▪ Zyklisches Vorliegen der Bilanzen
Hinweise	▪ Hertle, H. et al. (2020): Personelle Verstetigungsmodelle im kommunalen Klimaschutz, www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Verstetigungsmodelle_Klima-Kom-Pakt_2000331_ifeu.pdf

V3 Klimagerechte Bauleitplanung

Beschreibung	Über Bebauungspläne, städtebauliche Verträge und Kaufverträge können Aspekte der Klimawirkung und der Klimaanpassung in Neubaugebieten umfassend beeinflusst werden. Städtebauliche Verträge können nach § 11 Abs. 1 Satz 2 Nr. 4 und 5 BauGB beinhalten: ▪ Die Errichtung und Nutzung von Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplungen ▪ Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden Festlegungen können sich vertraglich stützen auf: ▪ Qualitätsstandards durch geeignete Siegel, die vielfältige Aspekte umfassen und extern geprüft werden, wie beispielsweise „Klimafreundliches Wohngebäude“ gemäß den KfW-Förderrichtlinien 297, 298, das folgende Anforderungen umfasst: - Effizienzhaus-Stufe 40, - maximale Treibhausgasemissionen gemäß Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude Plus und - keine Beheizung mit Öl, Gas oder Biomasse. ▪ Gemeindeeigene Vorgaben-Kataloge, gestützt auf Grenzwerte und auf Nachweise, die vom Bauträger vorzulegen sind. Beispiele sind: - Ziele zu Primärenergiebedarf, Eigenversorgungsanteil oder CO_2-Ausstoß - Dachbegrünung und PV-Anlagenpflicht für Flachdächer; Vorgaben zur Installation von PV- oder Solarthermieanlagen auf anderen Dachformen - Nachtkühlung etwa über Lüftungsanlagen Festlegungen im Bebauungsplan können beispielsweise umfassen: ▪ Kompaktbauweise (A/V-Verhältnis), Grundflächenzahl (GRZ), Bauhöhen (Hauptgesimshöhe). ▪ Dachformen; Dachaufbauten und Gauben nur auf Nordseite ▪ Ausrichtung des Gebäudes und der Fensterflächen (Wind, Beschattung, Solarertrag) ▪ Farben von Fassaden und Dächern (Albedo) ▪ Passive und aktive Verschattungselemente wie Vordächer, Dachüberstande, Rollläden und Markisen; Wärmeschutzverglasung ▪ Begrenzung der Glasflächenanteile im Dachgeschoss. Themennahe Maßnahmen zur Steuerung der Wärmeversorgung in Quartieren sind: ▪ Kommunale Erschließung ohne Erdgasnetz ▪ Grundsätzliche kommunale Prüfung von Quartierslösungen ▪ Pflicht zur Vorlage eines energetischen Versorgungskonzepts bei der Flächenentwicklung
Wirkung/Funktion	▪ Ganzheitliche Betrachtung der Gestaltung von Neubaugebieten im Hinblick auf Klimaschutz und Klimaanpassung ▪ Reduktion der Treibhausgasemissionen von Gebäuden und Siedlungsflächen
Initiator	▪ Bauverwaltung
Akteure	▪ Bauverwaltung ▪ Gemeinde-/Stadtrat
Handlungsschritte und Zeitplan	Bei Konzeption eines Neubaugebietes: ▪ Möglichkeiten und Grenzen der Festlegungen auf lokale Anwendbarkeit prüfen (Leitfaden beispielsweise difu 2017) ▪ Entwurf einer Beschlussvorlage (Bauverwaltung) ▪ Beschluss (Gemeinde-/Stadtrat) ▪ Umsetzung im Bebauungsplan und bei Grundstücksverkäufen (Bauverwaltung)
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungs-unterstützung	–
Klimaschutzrelevanz	■□□□□

Erfolgsindikatoren	▪ Klimaschutzvorgaben im Baugebiet sind festgelegt, gegebenenfalls nach Siedlungsflächentyp (Wohngebiet, Mischgebiet, Gewerbegebiet) ▪ Kennwert: Gebäudewärme-bezogene Treibhausgasemissionen (Haushalte, Gewerbe)
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Bobingen, Hiltenfingen, Hurlach, Klosterlechfeld, Königsbrunn, Schwabmünchen ▪ ILE und Begegnungsland
Hinweise	Im Zuge der Überarbeitung oder Neufestlegung von Vorgaben zur Bauleitplanung können weitere Themen, insbesondere aus dem Umfeld der Klimaanpassung und Versickerung eingebunden werden. Festsetzungen können beispielsweise umfassen: ▪ Begrünung (Bepflanzungsfestsetzung, Fassaden- und Dächer) ▪ Flachdachbebauung mit Begrünung für Mikroklima und Wasserrückhalt in Verbindung mit Notentwässerung (Retention) ▪ Zulässige Gebäudehöhe (relevant für Versickerung und Wirtschaftlichkeit) ▪ Gebäudeabstände (Durchlüftung) ▪ Begrünung der Freiflächen (Verzicht auf Versiegelung, landschaftliche Minimierung von Flutrisiken) ▪ Versiegelung und Versickerung ▪ Regenwasser- und Grauwassernutzung ▪ Einführung einer Freiflächengestaltungssatzung: Verbot von Schottergärten, Begrünungsvorgaben ▪ Erweiterte Stellplatzsatzung: alternativer Stellplatzschlüssel pro Wohneinheit oder für Unternehmen in der Nähe von ÖPNV-Stationen, Begrünung und Versickerung Quellen: ▪ difu (2017): Klimaschutz in der verbindlichen Bauleitplanung. https://difu.de/sites/default/files/bericht_klimaschutz_bauleitplanung_fuer_veroeffentlichung_langfassung_jsp.pdf ▪ KfW-Förderprogramme 297 und 298: www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/F%C3%B6rderprodukte/Klimafreundlicher-Neubau-Wohngeb%C3%A4ude-(297-298) ▪ Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude: https://www.qng.info/

8.4 Kommunale Energieoptimierung

K1 Energetische Sanierung ausgewählter kommunaler Liegenschaften

Beschreibung	Die Reduzierung des Energieverbrauchs ihrer Liegenschaften ist eine Möglichkeit, wie sich Kommunen selbst aktiv im Bereich Klimaschutz engagieren können. Insbesondere energetische Sanierungsmaßnahmen oder der Austausch fossiler Heizungssysteme bergen hier große Potenziale. Die einzelnen Maßnahmen sollten immer in einem Gesamtzusammenhang gesehen werden, der auch die jeweiligen Nutzungsarten und Besonderheiten (bspw. Denkmalschutz und Nutzungszeiten) berücksichtigt. Eine kommunale Liegenschaft sollte deshalb unter energetischen Gesichtspunkten untersucht und ein konkreter Sanierungsfahrplan zur Verringerung der Energieverbräuche und CO_2-Emissionen erstellt werden. Fördermöglichkeiten sollen dabei ebenfalls geprüft werden. Für Liegenschaften, die in direkter räumlicher Nähe zueinander liegen, sollte ein gemeinsames Konzept erstellt werden, dass auch gemeinsame Energieversorgungen betrachtet. Die jährlichen finanziellen und personellen Ressourcen der Kommune im Hinblick auf energetische Sanierungsmaßnahmen sind begrenzt. Deshalb sollte eine Priorisierung der Liegenschaften anhand des zu erwartenden Einsparpotenzials (hoher Energieverbrauch, geringer energetischer Gebäudestandard) erfolgen. Die Prioritätenliste kann dann nach verfügbaren personellen Ressourcen und Haushaltsmitteln abgearbeitet werden.
Wirkung/Funktion	▪ Energie- und CO_2-Einsparung ▪ Verringerung laufender Energiekosten ▪ Vorbildfunktion
Initiator	▪ Bauamt
Akteure	s.o.
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Prioritätenliste erstellen ▪ Förderung bei Bayern Innovativ beantragen (ENP Umsetzungsbegleitung) ▪ Sanierungskonzept beauftragen ▪ Mittelfristige Budgetplanung anhand der Prioritätenliste
Kosten für Kommune	■□□□□ für Sanierungskonzept ■■■■□ für Sanierung
Finanzierungsunterstützung	▪ Für Sanierungskonzept: 70 % Förderung über ENP-Umsetzungsbegleitung ▪ Für Sanierung: Förderung über Bundesförderung für effiziente Gebäude
Klimaschutzrelevanz	■■■■□ (bezogen auf die Treibhausgasbilanz der Kommunalverwaltung)
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl sanierter Liegenschaften ▪ Energie- und CO_2-Einsparung
Chancen & Risiken	**Chancen** ▪ Positivbeispiele kommunizieren, um Nachahmungseffekte zu erzielen ▪ Verringerung der jährlichen Energiekosten setzt Finanzmittel frei **Risiken** ▪ Sanierungsmaßnahmen weisen lange Amortisationszeiten auf ▪ Prognostizierte Einsparerfolge werden nicht erreicht
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Amberg, Bobingen, Großaitingen, Hurlach, Kleinaitingen, Klosterlechfeld, Königsbrunn, Lamerdingen, Langerringen, Obermeitingen, Oberottmarshausen, Untermeitingen, Wehringen ▪ ILE und Begegnungsland
Hinweise	-

K2 Energiesparende Straßen- und Außenbeleuchtung

Beschreibung	Die Straßenbeleuchtung wird auf effiziente LED-Leuchten umgerüstet. Moderne Steuer- und Regelungstechnik ermöglicht eine bedarfsgerechte, zonenweise Beleuchtung mittels Sensoren und Schaltuhren. Das Beleuchtungskonzept soll unterschiedliche Verkehrsflächen (für Kraftfahrzeuge, Fahrräder und Fußgänger) und gegebenenfalls zu beleuchtende Flächenbegrenzungen berücksichtigt. Energieoptimierte Außenbeleuchtungskonzepte können ebenso an Sportanlagen, Festplätzen etc. realisiert werden. Die Regelung kann zeit-, wetter-, verkehrs- oder präsenzabhängig erfolgen. Eine Umstellung auf LED-Straßenlampen und -laternen mit Aktivitäts- und Lichtmessregelung ermöglicht, bei Reduktion der Leistung auf 50 % für 2.000 Stunden im Falle des Ersatzes einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe eine Energieeinsparung von bis zu 80 %. Wird eine Halogen-Metalldampflampe ersetzt, sind noch bis zu 67 % Stromeinsparung möglich.
Wirkung/Funktion	▪ Energie- und Treibhausgaseinsparung durch effiziente, bedarfsgerechte Beleuchtung
Initiator	▪ Bauamt
Akteure	▪ Bauamt ▪ ggf. Energieversorger
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Erfassung von Anzahl, Lage, Technik und Energieeffizienzstufe der bestehenden Leuchtsysteme (Bestandsaufnahme) ▪ ggf. Förderantrag stellen ▪ Prüfung der Wirtschaftlichkeit zur Umrüstung auf LED-Technik und moderne Regelung ▪ Erstellen eines Beleuchtungskonzepts ▪ Auftragsvergabe und Umrüstung der Bestandsbeleuchtungen, gegebenenfalls abschnittsweise
Kosten für Kommune	■■■□□ Wirtschaftlich rentabel in Langzeitbetrachtung
Finanzierungsunterstützung	▪ Die Anfangsinvestitionen können beispielsweise durch Contracting-Modelle abgefedert werden. Nach Ablauf des Contractings (nach beispielsweise neun Jahren) übernimmt die Kommune die Straßenbeleuchtung wieder ▪ Förderung: Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld (Kommunalrichtlinie) des BMWK ▪ Förderung: Förderschwerpunkt „Klimaschutz in Kommunen“ im Bayerischen Klimaschutzprogramm (KommKlimaFöR)
Klimaschutzrelevanz	■■■□□ (bezogen auf die Treibhausgasbilanz der Kommunalverwaltung)
Erfolgsindikatoren	Anteil umgerüsteter Lichtpunkte; Energieeinsparung
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Hiltenfingen, Hurlach, Kleinaitingen, Klosterlechfeld, Langerringen, Oberottmarshausen, Schwabmünchen ▪ ILE und Begegnungsland
Hinweise	Die Sicherheitsfunktion der Straßenbeleuchtung ist zu gewährleisten. Die Beleuchtungsplanung beachtet nach Möglichkeit die DIN EN 13 201. Leitfäden: ▪ Deutsche Energie-Agentur GmbH (2016): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung – Einsparpotenziale identifizieren und erschließen ▪ EnergieAgentur.NRW GmbH (2018): Praxisleitfaden energieeffiziente Straßenbeleuchtung – Technologien, Strategien, Betreibermodelle, Vergabe ▪ Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH (2015): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung – Ein Leitfaden für Kommunen

K3 Wärmepotenzial aus Oberflächengewässern

Beschreibung	Für den Betrieb von Wärmepumpen zu Heizzwecken können auch oberirdische Gewässer als Wärmequelle genutzt werden. Diese thermische Oberflächenwassernutzung ist bislang wenig verbreitet. Einzelne Anwendungen existieren dabei schon sehr lange, beispielsweise zur Wärmeversorgung im Züricher Rathaus mit Flusswasser aus der Limmat seit 1937. Zwei Optionen sind für eine Realisierung zu betrachten: Entweder wird ein Wasserstrom dem Gewässer entnommen und über Wärmeübertrager geführt oder die Wärmeübertragung findet mittels eines eingebauten Wärmetauschers direkt im Gewässer statt. Im Sinne des Umwelt- und Artenschutzes ist eine Abkühlung von Oberflächengewässern durch Wärmeentnahme in aller Regel zu begrüßen. Die Installation der notwendigen Aggregate ist mit hohem genehmigungsrechtlichem und baulichem Aufwand verbunden. Die Wärmenutzung aus Oberflächengewässern ist deshalb für die Wärmeversorgung größerer Wärmeverbunde und -netze geeignet. Technisch bedingt ist eine Wärmeentnahme aus stehenden Oberflächengewässern meist nur bei sehr großen Gewässern sinnvoll und möglich. Im Betrachtungsraum beschränkt sich das Potenzial deshalb auf die Fließgewässer, insbesondere Wertach und Singold. Für konkrete Wärmeverbundprojekt in räumlicher Nähe zu Fließgewässern kann eine Machbarkeitsstudie relevante technische und rechtliche Fragestellungen klären, beispielsweise: ▪ Grundsätzliche Eignung des Gewässers ▪ Durchflussmengen oder Wasserreservoir-Größen und Jahres-Temperaturkurven ▪ Rechtliche Anforderungen an die Wärmenutzung, Genehmigungsaufwand ▪ Erfolgversprechende Technologien ▪ Erzielbare Wärmemenge als Potenzial ▪ Treibhausgas-Minderungspotenzial ▪ Investition- und Betriebsaufwand
Wirkung/Funktion	▪ Klärung der Nutzbarkeit der Gewässerwärme als Quelle insbesondere für Wärmenetze ▪ Eröffnung neuer regenerativer Energiequellen und Stärkung der regenerativen Wärmeversorgung
Initiator	▪ Kommunalverwaltung oder Regionalwerk
Akteure	▪ Gemeinderat ▪ Kommunalverwaltung ▪ Regionalwerk ▪ Externer Fachberater
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Oberflächengewässer als Versorgungsoption bei Wärmeverbundprojekten prüfen ▪ Beauftragung eines Beraters zur Prüfung der Machbarkeit ▪ Ergebnisse in Wärmekonzepte einfließen lassen
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungsunterstützung	Für eine Förderung der Studie kommt in Betracht: ▪ BMWK-Kommunalrichtlinie, 4.1.1 Inanspruchnahme von Beratungsleistungen ▪ Integration der Machbarkeitsstudie in Modul 1 der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) der BAFA
Klimaschutzrelevanz	■■□□□
Erfolgsindikatoren	▪ Studie liegt vor ▪ Ergebnisse werden in Wärmeversorgungskonzept eingearbeitet
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Großaitingen, Hurlach, Langerringen, Oberottmarshausen, Schwabmünchen, Wehringen ▪ Regionalwerk gKU
Hinweise	-

K4 Potenzialermittlung für Wärme aus Abwasser

Beschreibung	Die Abwasserwärmenutzung ist die Rückgewinnung von im Abwasser enthaltener Abwärme mithilfe von Wärmetauschern und Wärmepumpen. Die Wärmeentnahme erfolgt entweder noch innerhalb eines Gebäudes, im Kanal oder im Ablauf einer Kläranlage. Der am häufigsten realisierte Ansatz ist die Wärmeentnahme aus dem Kanalnetz über einen Sohlen-Wärmetauscher im Kanal oder über eine Bypass-Führung. Die technische Machbarkeit ist durch zahlreiche Einzelumsetzungen seit Jahrzehnten belegt. Bei der Wärmenutzung aus Abwasser handelt es sich um stark lokal begrenzte Potenziale. Das lokale Potenzial und die Machbarkeit einer Abwasserwärmenutzung können im Rahmen einer Studie geprüft werden. Insbesondere folgende Inhalte sind vorzusehen: ▪ Grundsätzlich geeignete Wärme-Entnahmeorte (Richtwert DN >800 mm) ▪ Durchflussmengen und Jahres-Temperaturkurven (Richtwerte: >15 l/s Rohabwasser; mind. 10 °C Abwassertemperatur ganzjährig) ▪ Rechtliche Anforderungen an die Wärmenutzung, Genehmigungsaufwand ▪ Mögliche Auswirkungen einer Abkühlung des Abwasserstroms auf die Kläranlagenleistung ▪ Geeignete Technologien in Abhängigkeit vom Einsatzort ▪ Erzielbare Wärmemenge als Potenzial ▪ Treibhausgas-Minderungspotenzial ▪ Investition- und Betriebsaufwand Mit Vorliegen der lokalisierten Potenziale kann die Einbindung in Wärmeverbundvorhaben oder die Versorgung einzelner Großobjekte geprüft und angestoßen werden
Wirkung/Funktion	▪ Klärung der Nutzbarkeit von Abwasserwärme als Quelle insbesondere für Wärmenetze und Großabnehmer ▪ Eröffnung neuer regenerativer Energie-Quellen und Stärkung der regenerativen Wärmeversorgung
Initiator	▪ Kommunalverwaltung
Akteure	▪ Gemeinde-/Stadtrat ▪ Verwaltung ▪ ggf. Regionalwerk ▪ Externer Fachberater
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Beauftragung eines Beraters zur Erstellung der Studie ▪ Nach Vorliegen: Publikation der Studie oder Weiterreichung an potenzielle Umsetzer
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungsunterstützung	Für eine Förderung der Studie kommt in Betracht: ▪ BMWK-Kommunalrichtlinie, 4.1.1 Inanspruchnahme von Beratungsleistungen ▪ Integration der Machbarkeitsstudie in Modul 1 der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) der BAFA
Klimaschutzrelevanz	■□□□□
Erfolgsindikatoren	▪ Studie liegt vor ▪ Höhe des Wärmepotenzials im Vergleich zum Wärmebedarf der Kommune
Priorisiert von den Gemeinden	Bobingen, Großaitingen, Hurlach, Kleinaitingen, Lamerdingen, Schwabmünchen, Wehringen
Hinweise	Quellen: DWA-Merkblatt M 114 „Abwasserwärmenutzung“. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2020

K5 Energetische Optimierung von Kläranlagen

Beschreibung	Kläranlagen haben oftmals einen wesentlichen Anteil am Energieverbrauch einer Kommune. Im Betrachtungsraum Lech-Wertach erfolgt die Abwasserreinigung in 9 kommunalen Kläranlagen. Die Ausbaugrößen reichen dabei von 100 bis 48.000 Einwohnerwerten. Bezogen auf ihre Ausbaugröße können Kläranlagen nach Anhang 1 der Abwasserverordnung in 5 Größenklassen eingeteilt werden. Nach UBA (2009) liegen die spezifischen Stromverbräuche von Kläranlagen in folgender Höhe: ▪ Größenklasse 1 <1.000 EW 75 kWh/EW/a ▪ Größenklasse 2 >1.000 – 5.000 EW 55 kWh/EW/a ▪ Größenklasse 3 >5.000 – 10.000 EW 44 kWh/EW/a ▪ Größenklasse 4 >10.000 – 100.000 EW 35 kWh/EW/a ▪ Größenklasse 5 >100.000 EW 32 kWh/EW/a Anhand energetischer Kennzahlen kann die Energieeffizienz der Kläranlagen ermittelt und so der Handlungsbedarf abgeleitet werden. Darauf aufbauend sollen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien identifiziert und technisch und wirtschaftlich geprüft werden. Hierzu wird eine detaillierte Studie erstellt, die folgende Elemente beinhaltet: ▪ Bestandsaufnahme und Dokumentation des energetischen Ist-Zustandes ▪ Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ▪ Optimierung der Maschinen- und Verfahrenstechnik ▪ Ggf. Prüfung von Optionen zur Klärschlammentwässerung und -trocknung ▪ Einsatz erneuerbarer Energieversorgungsvarianten, Energieerzeugung zur Stromeigennutzung sowie gegebenenfalls zur Mitversorgung weiterer kommunaler Anlagen ▪ Handlungsempfehlung unter Berücksichtigung vorhandener Förderprogramme
Wirkung/Funktion	▪ Reduzierung des Energiebedarfs der Kläranlage und somit von Treibhausgasemissionen ▪ Maximale Eigenversorgung mit erneuerbarer Energie zur Vorbereitung eines klimaneutralen Betriebs ▪ Reduktion der Transport- und Entsorgungsaufwände für Klärschlamm
Initiator	▪ Gemeinden
Akteure	▪ Ggf. Zweckverbandsmitglieder ▪ Anlagenverantwortlicher ▪ Externer Berater
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Definition der Studieninhalte ▪ Angebote einholen und Förderung für Studie beantragen (siehe Finanzierungsunterstützung) ▪ Vergabe der Studie ▪ Umsetzung der Handlungsempfehlungen Beginn: umgehend
Kosten für Kommune	■■□□□ für Erstellung der Studie Für Umsetzung abhängig von Art der umzusetzenden Maßnahmen
Finanzierungsunterstützung	Förderung für Erstellung der Studie: ▪ Bayerisches Förderprogramm Energiekonzepte und kommunale Energienutzungspläne – Umsetzungsbegleitung auf Grundlage eines Energienutzungsplans (bis zu 70 % der förderfähigen Kosten) ▪ Kommunalrichtlinie 4.1.6 Erstellung von Machbarkeitsstudien (50-70 % der förderfähigen Kosten) Förderung für Umsetzung der Maßnahmen: ▪ Kommunalrichtlinie 4.2.7 Maßnahmen zur Förderung klimafreundlicher Abwasserbewirtschaftung (30-45% der förderfähigen Kosten)
Klimaschutzrelevanz	■■■□□ bezogen auf Energieverbrauch der Kommune
Erfolgsindikatoren	▪ Beschluss der Umsetzung der Handlungsempfehlungen im kommunalen Gremium ▪ Jährlicher Energieverbrauch ▪ Jährlicher Energiebezug

Chancen & Risiken	Synergiechance: Die Studie kann auf andere Optimierungsdimensionen ausgeweitet werden, z. B. Reinigungsleistung, Kosten etc.
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Bobingen, Großaitingen, Hiltenfingen, Hurlach, Kleinaitingen, Lamerdingen, Langerringen, Oberottmarshausen, Schwabmünchen, Untermeitingen, Wehringen ▪ ILE und Begegnungsland
Hinweise	Umweltbundesamt: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. UBA-Text 11/08, Dessau-Roßlau, 2008

8.5 Information, Beratung

B1 Gebäude-Check (aufsuchende Energieberatung)

Beschreibung	Die Kampagne „Check-Dein-Haus“ ist eine aufsuchende Energieberatungskampagne, bei der den Hauseigentümern von Ein- bis Dreifamilienhäusern kostenlose Initial-Beratungen vor Ort angeboten werden. Ziele sind die Steigerung der Sanierungsrate und die Umstellung auf regenerative Wärmeversorgungslösungen. Die Kommune schreibt hierzu die Hauseigentümer an. Vorrangig sollten Stadtteile in den Blick genommen werden, die durch hohe Baualter geprägt sind und in denen in den nächsten Jahren vermehrt energetische Sanierungen anstehen. Außerdem kann anfangs der Fokus auf Ortsteile gelegt werden, in denen die Umsetzung zentraler Wärmenetze weniger wahrscheinlich ist (siehe Abschnitt 6.5.1). Die Beratung kann den Weg hin zu einer ambitionierten und in sich schlüssigen energetischen Gebäudeoptimierung zeigen. Ein Vorzug der Kampagne „Check-Dein-Haus“ ist die aufsuchende Beratung, die eine Inaugenscheinnahme des Beraters zulässt und damit die Passgenauigkeit der Beratung erhöht. Die Kampagnenberatung konzentriert sich auf definierte Wohnquartiere oder Ortsteile. So können Energieeinsparmaßnahmen zum Ortsteilgespräch werden; es kommt zu Nachahmungseffekten und gegenseitiger Motivation. Durch Bezuschussung oder Kostenübernahme der Beratung können die Hemmschwellen, insbesondere zu einer Erstberatung gesenkt werden. Nach Durchführung der ersten Kampagnen werden nach Ablauf eines Jahres die erzielten Ergebnisse analysiert (Review). Aufbauend darauf können dann weitere Ortsteile oder Quartiere gezielt ausgewählt werden. Die Kosten für die Kommune sind abhängig von den durchgeführten Beratungen und der Kostenverteilung. Die Beratungskosten liegen üblicherweise bei 130-200 € zuzüglich der Kosten für das Anschreiben, Öffentlichkeitsarbeit (Plakate, Flyer, Info-Broschüren) und Beraterschulung.
Wirkung/Funktion	▪ Motivation von Hausbesitzern zur energetischen Sanierung und Energieeinsparung ▪ Reduktion des Energieeinsatzes in Gebäuden ▪ Umstellung auf erneuerbare Energien
Initiator	▪ Kommunalverwaltung
Akteure	▪ Kommunalverwaltung ▪ ggf. ILE, Begegnungsland oder Klimaschutzabteilung Landratsamt ▪ Energieberater
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Auswahl geeigneter Quartiere oder Ortsteile ▪ Auswahl geeigneter lokaler Energieberater z.B. in Abstimmung mit dem Landkreis ▪ Anschreiben des Bürgermeisters an die Hauseigentümer ▪ Weiterführende Öffentlichkeitsarbeit (beispielsweise Auftaktveranstaltung) ▪ Terminvereinbarung und Beratung durch die Energieberater ▪ Review ein Jahr nach Durchführung der Maßnahme: Abfrage, wie häufig und in welchem Umfang energetische Maßnahmen umgesetzt wurden
Kosten für Kommune	■□□□□

Finanzierungs-unterstützung	Gegebenenfalls Förderung des BMWK über die BAFA für eine Energieberatung für Wohngebäude (Vor-Ort-Beratung, individueller Sanierungsfahrplan). Zu prüfen ist, ob die Kommune Antragsteller sein kann
Klimaschutzrelevanz	■■■□□
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl durchgeführter Beratungen ▪ Angestoßenes Investitionsvolumen ▪ Anzahl umgesetzte Sanierungs- und Effizienzmaßnahmen
Priorisiert von den Gemeinden	Amberg, Bobingen, Hurlach, Kleinaitingen, Klosterlechfeld, Königsbrunn, Lamerdingen, Obermeitingen, Oberottmarshausen, Schwabmünchen, Wehringen
Hinweise	Chancen: ▪ Mitnahmeeffekt durch kostenlose Beratung lässt hohe Teilnahmequote erwarten ▪ Investition in Energieberatung lässt Folgeinvestitionen erwarten (Erfahrungen aus bayerischen Landkreisen: rund 20.000 € je Beratung) Energieberatung sollte nach Möglichkeit in den Wintermonaten durchgeführt werden, da in der „kalten Jahreszeit“ die Sensibilität für Energieeffizienz und -einsparmaßnahmen am höchsten ist. Aufsuchende Energieberatungen wurden beispielsweise bereits erfolgreich von den Kommunen Großaitingen, Königsbrunn und Schwabmünchen durchgeführt. Unterstützung durch das jeweilige Landratsamt ist anzufragen.

B2 Klimabildung in der Schule

Beschreibung	Schülerinnen und Schüler werden durch kreative Projekte für das Thema Klimaschutz sensibilisiert und motiviert, sich aktiv für Klima- und Umweltschutz einzusetzen. Eingebettet werden die Aktionen in den Fachunterricht, den fachübergreifenden Unterricht, Projekttage oder -wochen, AGs und Langzeitprojekte. Schulen werden motiviert, die Auszeichnung „Klimaschule“ anzustreben. Aktionen werden den Schulen vorgeschlagen und von den Kommunen gegebenenfalls finanziell gefördert, u.a. ▪ Anschauungs- und Informationsmaterial für den regulären Unterricht (z. B. Ausstellungen, Strommessgeräte, andere Bildungsmaterialien) ▪ Planspiele ▪ Projekte im Fachunterricht z.B. PV-Anlage in Physik, Schulgarten in Biologie, ... ▪ Medienprojekte (Klimazeitung, Klimafilm, Podcast, Social-Media-Kampagne) ▪ 30-Tage-Challenge: Selbstverpflichtung von Schülerinnen und Schülern zur Umsetzung selbstgewählter Nachhaltigkeitsbeiträge ▪ Projekte der Schülerinnen und Schüler als Energie- und Klimapioniere
Wirkung/Funktion	▪ Sensibilisierung und Motivation von Schülerinnen und Schülern zum Klimaschutz ▪ Ausstrahlwirkung in die Familien
Initiator	▪ Kommunalverwaltung
Akteure	▪ Schulverwaltung ▪ Gegebenenfalls externe Berater-/ModeratorInnen ▪ Bildungsträger wie VHS, Kirchen, Jugendring etc. und zivilgesellschaftliche Interessenverbände wie BUND, FFF, Verbraucherzentrale etc. ▪ ggf. Klimaschutzabteilungen der Landratsämter
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Anregung und Information der Schul-Vertreter In den Schulen: ▪ Zuständigkeiten/Team benennen ▪ Festlegen von konkreten Aktionen ▪ Durchführung ▪ Feedback und Fortführung
Kosten für Kommune	■□□□□

Finanzierungs-unterstützung	Förderung: ▪ BMWK: Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld (Kommunalrichtlinie), Punkt 4.1.4
Klimaschutzrelevanz	■■■□□
Erfolgsindikatoren	Anzahl durchgeführte Aktionen, Anzahl Teilnehmende
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Bobingen, Großaitingen, Hiltenfingen, Hurlach, Kleinaitingen, Klosterlechfeld, Langerringen ▪ ILE und Begegnungsland
Hinweise	Unterrichtsmaterialien z.B.: https://www.bne-lernen.bayern.de https://www.km.bayern.de/lernen/inhalte/klimaschutz-und-nachhaltigkeit 30-Tage-Challenge, Beispiel: www.alp-s.at/projekte/detail/project/30-days-challenge-mit-dem-gymnasium-fuessen BundesUmweltWettbewerb: https://www.km.bayern.de/wettbewerb/schuelerwettbewerb-sucht-nachwuchs-mit-nachhaltigen-ideen

B3 Klimaschutzkommunikation, Information und Motivation

Beschreibung	Den Klimaschutz kann die Kommunalverwaltung nicht alleine voranbringen. Wesentlichen Einfluss nehmen die Bürgerinnen und Bürger. Maßnahmen der Bildung, Information und Motivation sensibilisieren, informieren und motivieren Bürgerinnen und Bürger und befähigen sie zum Handeln. Klimaschutzbildung kann für alle Altersgruppen gestaltet werden. Im Rahmen einer Kommunikationsstrategie wird vorgeschlagen, Aktivitäten nach folgender Maßgabe zu planen: Zielgruppen u.a. ▪ Vorschulkinder, Schülerinnen und Schüler (s. Maßnahme B2) ▪ Bürgerinnen und Bürger allgemein ▪ Hausbesitzende ▪ Gewerbetreibende ▪ Hausmeister und Hausmeisterinnen Kanäle u.a. ▪ Gemeinde-Nachrichten ▪ Website der Kommune ▪ Informationsmaterial ▪ Bürgerinformationsabende, Vorträge ▪ Klimaschutzprojekte an Schulen und Kindergärten (s. Maßnahme B2) ▪ Messen und Ausstellungen ▪ Besichtigungsmöglichkeit von Musteranlagen oder Vorreiterstandorten, beispielsweise Tag der offenen Heizungstür ▪ Social Media ▪ Pressemitteilungen, Interviews, Radio, TV ▪ Wettbewerbe, Challenges Themen z.B. ▪ Energiespartipps ▪ Energieeinsparung und Solarnutzung für Wohngebäude (vgl. Maßnahme B1) ▪ Informationsveranstaltungen zu nachhaltigen Wärmeversorgungslösungen und Wärmenetzen für Gebäudeeigentümer ▪ Best-Practice-Beispiele im Bereich Wärmeversorgung ▪ Klimaschutz in Verwaltungsgebäuden, Qualifizierung zum Energiemanager ▪ Klimafreundlicher Konsum (Nahrung, Gebrauchswaren, Reisen, …) ▪ Klimafreundliche Mobilität Die Zusammenarbeit mit lokalen Energieagenturen, Energieberatern, ortsansässigen Handwerksbetrieben, öffentlichen Beratungsstellen, lokalen Energieversorgern, Bildungsträgern, Interessenverbänden, anderen Gemeinden oder dem Landkreis erhöht die Reichweite und Effizienz der Aktivitäten.

Wirkung/Funktion	▪ Klimaschützendes Handeln verschiedener Zielgruppen wird insbesondere in den Bereichen Gebäude & Wohnen, Konsum und Mobilität gefördert ▪ Die Kommunen positionieren sich als aktiv und engagiert im Klimaschutz ▪ Die Kommunen fördern die Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung
Initiator	▪ Kommunalverwaltung
Akteure	▪ Kommunalverwaltung ▪ Klimaschutzabteilungen der Landratsämter ▪ lokale Energieagenturen ▪ Externe Berater, Handwerksbetriebe, Energieversorger, IHK ▪ Bildungsträger wie VHS, Kirchen, Jugendring etc. und zivilgesellschaftliche Interessenverbände wie BUND, FFF, Verbraucherzentrale etc.
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Zuständigkeiten benennen ▪ Festlegen eines Bildungs- und Informationsplans mit konkreten Aktivitäten ▪ Eigene Durchführung oder Anstoß bei Partnern ▪ Monitoring und Controlling
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungs-unterstützung	-
Klimaschutzrelevanz	■■■□□
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl durchgeführte Aktionen ▪ Anzahl Teilnehmende
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Amberg, Bobingen, Großaitingen, Kleinaitingen, Klosterlechfeld, Königsbrunn, Lamerdingen, Oberottmarshausen, Untermeitingen ▪ ILE und Begegnungsland
Hinweise	▪ Allianzen können den Aktivitäten einen Rahmen und in der Außenwirkung einen Wiedererkennungswert geben. ▪ Möglichkeiten der Bürgerinnen und Bürger, sich selbst einzubringen, erhöhen die Motivation ▪ Themen und Inhalte werden zum Ortsgespräch (Multiplikatoreffekt) ▪ Imagegewinn für beteiligte Akteure (Kommune, Energieberater, Handwerksbetriebe) Literatur: BNE-Kompetenzzentrum (2023): Praxishandbuch. Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Kommune gestalten. München, www.bne-kompetenzzentrum.de/de/praxishandbuch

8.6 Ausbau erneuerbarer Energien

E1 Kommunale Steuerung des Zubaus von PV-Freiflächenanlagen

Beschreibung	Photovoltaik-Freiflächenanlagen können kostengünstig erneuerbaren Strom produzieren und sind wesentlicher Bestandsteil der zukünftigen Stromversorgung. Sie werden sowohl auf EEG-förderfähigen Flächen als auch zunehmend ohne EEG-Förderung errichtet. Insgesamt kommen somit große Flächenanteile einer Kommune in Betracht (s. Abschnitt 4.1). Für Projektentwickler stehen in der Regel die Flächenverfügbarkeit und die Möglichkeit zur Netzeinspeisung im Vordergrund; raumplanerischen und ökologischen Belangen kommt zumeist eine geringe Bedeutung zu. Dies birgt Konfliktpotenziale. Daher ist eine kommunale Steuerung des Zuwachses von PV-Freiflächenanlagen wünschenswert. Diese sichert eine strukturierte Herangehensweise und vermeidet inkonsistente Einzelfallentscheidungen. Kommunen verfügen mit der Bauleitplanung über die Planungshoheit. Katalog von Anforderungs- und Abwägungskriterien Ein Katalog mit Vorgaben- und Bewertungskriterien ist dienlich, weitgehend objektive Entscheidungen zu Bauantragstellungen für PV-Freiflächenanlagen zu treffen. Geeignete Anforderungen und Abwägungskriterien sind beispielsweise ▪ Erweiterter Schutz von Mensch, Natur und Kultur - Erhalt ertragreicher Ackerflächen für die Landwirtschaft, daher Nutzung von ertragsarmen Böden oder Hanglagen für PV - Ökologische Aufwertung der Flächen (Wiedervernässung ehemaliger Moorflächen) - Landschaftsschutz und Sichtbarkeit (Lage, Abstände, Einfriedung) - Barrierewirkungen (Naherholung, Tierwanderung) ▪ Bürgerbeteiligungsoptionen und gemeindlicher Benefit ▪ Kommunale Wertschöpfung ▪ Wirtschaftliche Erfolgschancen des Vorhabens und Solidität des Projektentwicklers ▪ Verpflichtung zum Rückbau (Absicherung über Bankbürgschaft) ▪ Ertragsbeeinflussende Flächencharakteristika (Ausrichtung, Neigung, Verschattung) ▪ Konzentration von Anlagen – mögliche Synergien - Vermeidung von Kosten - Wahrung der Chancen auf Netzanschluss und -einspeisung 13 Gemeinden im Betrachtungsraum erachten eine interkommunale Zusammenarbeite bei der Steuerung des Zubaus von PV-Freiflächenanlagen als interessant. Eine interkommunale Zusammenarbeit unter Federführung des Regionalwerks ist zu prüfen.
Wirkung/Funktion	▪ Ausbau der regenerativen Stromerzeugung ▪ Beachtung von Kriterien z.B. zu Regionalplanung, Schutz von Mensch, Natur und Kultur, Landschaftsbild, lokaler Wertschöpfung und Bürgerbeteiligung beim Ausbau der Freiflächen-PV
Initiator	▪ Bauamt oder Regionalwerk
Akteure	▪ Gemeinde-/Stadtrat ▪ Kommunalverwaltung ▪ Regionalwerk ▪ Nachbarkommunen

Handlungsschritte und Zeitplan	Vor einer Detaillierung wird empfohlen, Verfahren anderer Kommunen zu sichten (Beispiele in den Hinweisen). Zubau-Zielbereich ▪ Festlegung von mindestens gewünschter und maximaler Freiflächen-PV in der Kommune in Hektar oder Megawatt ▪ Optional: Festlegung eines maximalen jährlichen Zubaus Anforderungs- und Abwägungskatalog ▪ Aufstellen einer Kriteriensammlung ▪ Gruppierung der Kriterien: - Anforderungen - Abwägungen ▪ Detaillierung der Kriterien Bewertungsvorgehen ▪ Festlegung von Grenzwerten oder Skalen für die Kriterien ▪ Erstellen eines Bewertungsbogens für Anforderungen und Abwägungen ▪ Optional: Ausarbeitung eines Bewertungssystems (z.B. Punktesystem) mit Schwellwert Umsetzung ▪ Beschluss im Gemeinde-/Stadtrat ▪ Anwendung im Falle von Genehmigungsanfrage für PV-Freiflächenanlagen. Annahme von Anfragen, die zum Zubau-Zielbereich passen, die Mindestkriterien erfüllen und ein ausreichendes Bewertungsergebnis erzielen. ▪ Festlegung in Bebauungsplänen oder städtebaulichen Verträgen
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungsunterstützung	–
Klimaschutzrelevanz	■■□□□
Erfolgsindikatoren	▪ Strukturiertes Bewertungsvorgehen liegt vor ▪ Summe neuinstallierter Erzeugungsleistung ▪ Anteil der Bürgerbeteiligung und der kommunalen Beteiligung ▪ Einnahmen der Kommune (Gewinnausschüttung, Gewerbesteuer)
Priorisiert von den Gemeinden	Amberg, Bobingen, Großaitingen, Hiltenfingen, Kleinaitingen, Klosterlechfeld, Königsbrunn, Lamerdingen, Langerringen, Obermeitingen, Oberottmarshausen, Schwabmünchen, Untermeitingen, Wehringen ILE und Begegnungsland, Regionalwerk
Hinweise	Eine kommunale Leitlinie zur Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen ist eine städtebauliche Planung im Sinne von § 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB und als solches bei der Aufstellung von Bauleitplänen zu berücksichtigen. Kommunale Beispiele für Anforderungs- und Abwägungskataloge ▪ Blaustein: Kriterien für Freiflächen-Solaranlagen in Blaustein. www.blaustein.de/de/wirtschaft-bauen/photovoltaik-freiflaechenanlagen ▪ Königheim: Kriterien für Freiflächen-Photovoltaik in der Gemeinde Königheim. www.koenigheim.de/de/leben-wohnen/bauen-wohnen/freiflaechenphotovoltaik ▪ Lichtenfels: Leitfaden für die Zulassung von Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen im Stadtgebiet Lichtenfels. www.lichtenfels.de/pv-freiflaechenanlagen Standortkonzept ▪ Standortkonzept für Photovoltaik-Freiflächenanlagen der Stadt Ebersberg https://www.ebersberg.de/energie-umwelt/solarstadt-ebersberg.html Weitere Quellen: Rundschreiben “Bau- und landesplanerische Behandlung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen“ des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr vom 10.12.2021 Regierung von Unterfranken: Steuerung von Photovoltaikanlagen auf Freiflächen in Unterfranken – Planungshilfe für Städte, Gemeinden und Projektträger, Stand 28.01.2022

E2 Ausbau der Windkraft

Beschreibung	Die Kommunen unterstützen die Errichtung von Windkraftanlagen an gut geeigneten Standorten. In Betracht kommen insbesondere windhöffige Flächen, durch deren Nutzungsänderung Schutzgüter nicht beeinträchtigt werden, auf denen geringe Mehrbelastungen für Mensch und Umwelt entstehen und die ressourcenschonend erschließbar sind. Seit 2023 können Windkraftanlagen weiterhin unter Einhaltung der sogenannten 10H-Abstände errichtet werden und zusätzlich auch ▪ auf Flächen, für die Ausnahmen nach § 82 Abs. 5 Nr. 2-6 BayBO gelten (Nähe zu und Stromnutzung im Gewerbegebiet, entlang Verkehrswegen, Repowering-Vorhaben, Militärübungsplätze, Wald) oder ▪ in Vorrang- und Vorbehaltsgebieten der Regionalplanung für Windkraft oder in Sonderbauflächen/-gebieten für Windkraft der Flächennutzungspläne (beides gemäß § 82 Abs. 5 Satz 1 BayBO). Die bayerischen und baden-württembergischen Planungsverbände sind aufgerufen, Flächenanteile von 1,1 % bis 2026 und von 1,8 % bis 2032 als Vorranggebiete für die Windkraft auszuweisen, um die Anforderung des Wind-an-Land-Gesetzes zu erfüllen. Die Regionalplanung stellt spätestens ab 2027 das einzig verbleibende Instrument zur raumpolitischen Ordnung des Windkraftausbaus dar. Jede Gemeinde sollte sich an der für Sie zuständigen Regionalplanung aktiv einbringen. Zur Unterstützung der Planung von regionalen Vorrangflächen sollten geeignete Flächen in den Gemeinden identifiziert und priorisiert werden. Einige Kommunen haben in den letzten Jahren ihre Gestaltungsmöglichkeiten bereits genutzt und Konzentrationsflächen im Rahmen der Flächennutzungsplanung ausgewiesen – diese sollten ebenfalls als fortbestehende bzw. künftige Vorrangflächen rückgemeldet werden. Planung und Errichtung von Windkraftanlagen sollten in interkommunaler Abstimmung oder Zusammenarbeit und mit monetärem Nutzen für Kommune und Bürger erfolgen. Gute Voraussetzungen dafür bestehen bei einer Projektentwicklung durch das Regionalwerk.
Wirkung/Funktion	▪ Steigerung der regenerativen Stromerzeugung im Gemeindegebiet ▪ Erhöhung des zeitgleichen Nutzungsgrades im lokalen Stromnetz ▪ Lenkung des Ausbaus von Windkraftanlagen unter den Aspekten - energetischer Ertrag - örtliche Belastung (Lärm, Schattenwurf, Ortsbild, Umzingelungswirkung) - Umwelt- und Artenschutz - Kommunale Entwicklung - Konzentration von Anlagen zur Kosteneinsparung und Wahrung der Chancen auf Netzanschluss und Netzeinspeisung - Interkommunale Projekte ▪ Hohe lokale Wertschöpfung, Identifikation und Investitionschance
Initiator	▪ Bauamt oder Regionalwerk
Akteure	▪ Bauamt ▪ Gemeinde-/Stadtrat ▪ Regionalwerk ▪ Projektierer ▪ Regionale Energieversorger ▪ Regionaler Planungsverband

Handlungsschritte und Zeitplan	**Geordneter Ausbau** ▪ Die Identifikation von potenziell geeigneten Flächen hat für den Windkraftausbau übergeordnete Bedeutung. ▪ In einem Abwägungsprozess können anhand harter und weicher Kriterien umsetzungsfähige Potenzialflächen bestimmt werden. ▪ Hierbei sollte eine interkommunale Abstimmung erfolgen. ▪ Die Aufstellung eines (Angebots-)Bebauungsplans kann als gemeindliche Vorleistung den Windausbau in geeigneten Flächen unterstützen. Die Kosten für Gutachten trägt die Kommune. ▪ Die bestimmten Potenzialflächen sollten im Rahmen einer späteren Festsetzung über die Regionalplanung (im Bestfall vor dem 31.12.2026) zur Grundlage der Vorranggebiete für Windkraft mit Ausschlusswirkung werden. **Umsetzungsmaßnahmen** ▪ Direkte Flächensicherung durch Gemeinde, Kommunalunternehmen oder Bürgergesellschaften: Dies wird unterstützt durch Anregungen zu Gründung, Ansprache von Flächeneigentümern sowie Versammlungsorganisation und -moderation. ▪ Investition in die Errichtung eigener Anlagen oder eine kommunale Beteiligung an Bürgergesellschaften.
Kosten für Kommune	■□□□□ bis ■■■■■ abhängig vom Umfang der finanziellen Beteiligung, dem Potenzial und dem Umsetzungsmaß
Finanzierungs-unterstützung	EEG-Förderung
Klimaschutzrelevanz	■■■■□
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl neuerrichteter Anlagen ▪ Summe neuinstallierter Erzeugungsleistung ▪ Menge des eingespeisten Stroms ▪ erreichte Volllaststundenzahlen ▪ Anteil der Bürgerbeteiligung und der kommunalen Beteiligung ▪ Einnahmen der Gemeinde (Gewinnausschüttung, EEG-Einspeisevergütung, Gewerbesteuer, freiwillige Abgabeleistung)
Chancen & Risiken	▪ Flächennutzungskonflikte ▪ Anwohnerproteste ("not in my backyard")
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Bobingen, Großaitingen, Kleinaitingen, Königsbrunn, Lamerdingen, Langerringen, Obermeitingen, Schwabmünchen, Untermeitingen, Wehringen ▪ Regionalwerk
Hinweise	Fachagentur Windenergie an Land (2018): 20 Jahre Erfahrungen mit der privilegierten Zulässigkeit von Windenergieanlagen im Außenbereich (insb. Seiten 10-15, 20)

E3 Bündelung von Netzanschlusspunkten für neue PV-Freiflächen- und Windkraftanlagen

Beschreibung	Die Stromerzeugung mit wachsenden Anteilen erneuerbarer Energien erzeugt zusätzliche Herausforderungen für das öffentliche Stromnetz. Teils müssen regional große Strommengen abtransportiert und über längere Strecken zu Verbrauchern geliefert werden. Der Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze muss dabei mit dem Ausbau der Erzeugung Schritt halten. Dies ist nicht immer der Fall. Bei der Umsetzung von PV- und Windkraftanlagen ist deshalb oftmals der verfügbare Netzverknüpfungspunkt ein entscheidender Faktor. Projektierer müssen entweder lange auf eine Anschlussmöglichkeit warten oder der Weg zum nächsten Netzverknüpfungspunkt ist sehr weit. Die systematische Analyse geeigneter Netzeinspeisepunkte und darauf aufbauend die Ausweisung geeigneter Potenzialflächen für PV-Freiflächen- und Windkraftanlagen kann dieses Hemmnis abbauen. Hierfür ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Kommunen, Netzbetreiber und Regionalwerk nötig. Im umgekehrten Fall können für geplante Potenzialflächen frühzeitig Netzeinspeisekapazitäten geschaffen werden. Bei Konzentration von Erzeugungsanlagen steigt außerdem die Wirtschaftlichkeit von Umspannwerken zur Transformation der erzeugten Strommengen in höhere Netzebenen.
Wirkung/Funktion	▪ Schnellere Netzanbindung von PV-Freiflächen- und Windkraftanlagen ▪ Zügiger Ausbau von Erzeugungsanlagen bei geringem Aufwand für Netzausbau ▪ Geringere Netzanschlusskosten für Anlagenbetreiber
Initiator	▪ Regionalwerk
Akteure	▪ Regionalwerk ▪ Kommunen ▪ Netzbetreiber ▪ Ggf. externer Berater
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Zeitplan und Projektziele definieren ▪ Ausarbeitung in Zusammenarbeit mit Netzbetreiber ▪ Publikation der Ergebnisse um Umsetzungen anzustoßen
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungsunterstützung	-
Klimaschutzrelevanz	■■■□□
Erfolgsindikatoren	▪ Projektstart ▪ Ergebnisvorstellung ▪ Projektumsetzungen
Chancen & Risiken	Synergiechance: Die Studie kann auf andere Optimierungsdimensionen ausgeweitet werden, z. B. Kombination verschiedener Erzeugungsanlagen, Speicher oder Anlagen zur Sektorenkopplung. Risiken: Gesetzliche Regelungen schränken die Gestaltungsmöglichkeiten ein. Gemeinsamer Konsens wird nicht gefunden.
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Amberg, Hurlach, Lamerdingen ▪ ILE und Begegnungsland, Regionalwerk
Hinweise	Netzverknüpfungspunkte-Studie – Gemeinsame Nutzung von Netzverknüpfungspunkten durch Erneuerbare Energien, Speicher und Anlagen zur Sektorenkopplung; Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.: https://www.bee-ev.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Meldungen/Studien/2024/20240310_BEE_Studie_NVP.pdf

E4 Nutzungskonzepte für Biogasanlagen

Beschreibung	Biogasanlagen wurden im Rahmen des EEG meist so betrieben, dass möglichst kontinuierlich Strom erzeugt wird. Durch die steigende Erzeugung von Strom aus fluktuierenden regenerativen Energiequellen sinkt der Marktwert der grundlastorientierten Stromerzeugung. Spätestens mit Auslaufen der EEG-Vergütung sind Biogasanlagenbetreiber deshalb auf zusätzliche Einnahmen angewiesen. Die Rahmenbedingungen und der Status der Biogasanlagen ist individuell und bedarf deshalb anlagenspezifischer Optimierungsmaßnahmen. Grundsätzlich können Mehrerlöse generiert werden durch: ▪ Bedarfsgerechte Strombereitstellung ▪ Strom-Direktlieferung an Abnehmer im Umfeld ▪ Zusätzliche Abgabe von Wärme an Dritte (Großabnehmer oder Wärmenetz) ▪ Biogasaufbereitung und Vermarktung als Biomethan Abhängig vom Alter der Anlage, der räumlichen Lage, dem bisherigen Anlagenkonzept sowie bestehenden vertraglichen Verpflichtungen gibt es unterschiedliche Anknüpfungspunkte. In Gesprächen mit den lokalen Biogasanlagenbetreibern sollten deshalb die Möglichkeiten für eine langfristige Integration der Biogasanlagen im kommunalen Energieumfeld erörtert werden – beispielsweise durch den Auf- oder Ausbau der Wärmeabnahme, der Stromdirektabnahme oder der Bündelung von Anlagen zur gemeinsamen Biogasaufbereitung. Das Regionalwerk kann hierbei unterstützend oder federführend wirken.
Wirkung/Funktion	▪ Optimale Nutzung der lokal erzeugten regenerativen Energie ▪ Erhöhte Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern ▪ Optimierung der Erlössituation für Anlagenbetreiber zum Post-EEG-Betrieb ▪ Verringerung der Treibhausgasemissionen im Gemeindegebiet
Initiator	▪ Bürgermeister oder Regionalwerk
Akteure	▪ Bauamt ▪ Biogasanlagenbetreiber ▪ Regionalwerk
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Identifikation der Biogasanlagen im jeweiligen Gemeindegebiet ▪ Erörterungstermin mit Anlagenbetreiber ▪ Prüfung möglicher Optimierungsansätze ▪ Bei Bedarf: Einbindung weiterer Akteure
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungsunterstützung	Bei Erstellung von Machbarkeitsstudien oder Konzepten ggf. Integration in Modul 1 der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) der BAFA
Klimaschutzrelevanz	■■□□□
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl geführter Gespräche ▪ Erreichte Umsetzungen
Chancen & Risiken	Risiko: kein Einfluss auf wesentliche beeinflussende Faktoren (z.B. Bundesgesetzgebung) Chance: Erhalt und Ausbau der regenerativen Energieerzeugung und -nutzung
Priorisiert von den Gemeinden	▪ Bobingen, Hurlach, Schwabmünchen ▪ Regionalwerk
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020), www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

E5 PV-Freiflächenanlage Graben

Beschreibung	Die Gemeinde Graben besitzt nördlich des Ortsteils Graben unbebaute Flächen. Die Flurstücke liegen zwischen der Staatsstraße und einem Baggersee. Das Areal umfasst 3,9 ha. Das südlich gelegene Flurstück mit einer Größe von 1,7 ha ist als Ausgleichsfläche festgeschrieben. Nach erster Einschätzung des Landratsamtes Augsburg vom 07.08.2024 ist eine Überbauung der bestehenden Ausgleichsfläche nicht ohne weiteres möglich. Die Ausgleichsfläche wäre zuerst zu verlegen. Die Flächen liegen außerhalb der EEG-Förderkulisse, wonach der Strom direkt vermarktet werden müsste. Die prognostizierten Börsenstrompreise lassen keinen wirtschaftlichen Betrieb erwarten. In Abschnitt 7.2 sind Möglichkeiten zur Direktlieferung des erzeugten PV-Stroms an Unternehmen im Gewerbepark Graben und zur Indirektlieferung an Dritte über das öffentliche Stromnetz beschrieben und entsprechende Stromgestehungskosten berechnet.
Wirkung/Funktion	▪ Erhöhung der regenerativen Stromerzeugung ▪ Impulse zur Nachahmung durch Vorbildcharakter
Initiator	▪ Regionalwerk
Akteure	▪ Regionalwerk ▪ Gemeinde Graben ▪ Unternehmen im Gewerbepark Graben ▪ ggf. Kommunen als Stromabnehmer
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Abnahmeinteressen erkunden ▪ Vermarktungsoptionen und resultierende Wirtschaftlichkeit prüfen ▪ Planungsbüro mit Anlagenplanung beauftragen
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungsunterstützung	▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ ▪ ggf. Umsetzungsbegleitung gemäß „Richtlinie zur Förderung von Energiekonzepten und kommunalen Energienutzungsplänen“
Klimaschutzrelevanz	■■□□□
Erfolgsindikatoren	▪ Beauftragung Fachplaner ▪ Umgesetzte Maßnahme
Chancen & Risiken	Chancen ▪ Erzeugung von erneuerbaren Strommengen zu günstigen und stabilen Preisen ▪ Umsetzung erzeugt Nachahmungseffekt (intern und extern) Risiken ▪ Angebotene Strompreise sind für Unternehmen nicht attraktiv ▪ Weit entfernte Netzeinspeisepunkte verringern die Wirtschaftlichkeit
Hinweise	Spezielle Maßnahmen können die Fläche ökologisch aufwerten, z.B.: ▪ Magerwiese zur Entwicklung einer reichhaltigen Flora & Fauna ▪ Grünpflege durch Schafbeweidung ▪ Blühstreifen und Heckenbepflanzung an Randstreifen

8.7 Wärmeversorgung

Wärmeverbunde (Nahwärmenetze) sind effiziente, langfristig angelegte Wärmeversorgungslösungen mit hohem Klimaschutzpotenzial.

Eine gemeinsam genutzte, zentrale Infrastruktur ermöglicht in aller Regel geringere Bau- und Betriebsaufwände als bei Einzelhausheizungen, den gebündelten Einkauf von Investitionsgütern und Brennstoffen sowie den Lastausgleich durch zeitlich unterschiedliche Heizbedarfe der Anschlussnehmer (Gleichzeitigkeit).

Die nachfolgenden Steckbriefe beschreiben untersuchte Wärmeverbundansätze im Betrachtungsraum. Detaillierte Ergebnisse sind in den Abschnitten 7.4 bis 7.5 zu finden.

W1 Tiefengeothermie

Beschreibung	In der Region werden Optionen zur Nutzung der tiefen Geothermie in großflächigen Netzen geprüft. Die im Betrachtungsraum anzunehmenden Untergrundtemperaturen im Malm im Bereich von 60-80°C machen den Einsatz von alternativen Techniken zur Nutzung dieser Energiequelle nötig. Wärmenetzplanungen mit niedrigen Netztemperaturen und große Absatzmengen sind geeignete Anreize für Akteure, diese Quellen zu erschließen. Die geothermale Erschließung benötigt aufgrund der hohen Untersuchungs- und Baukosten eine hohe Planungssicherheit. Der Zeitbedarf für die Erschließung und den Bau großer Verteilnetze ist im Rahmen der eigenen Versorgungsplanung stets zu berücksichtigen. Der Aufbau von kommunalen – zunächst dezentralen – Netzen bietet allen Beteiligten die notwendigen, langfristigen Entwicklungsperspektiven zum Aufbau von Tiefengeothermie gestützten Netzen. Eine Integration von Wärmekraftwerken in diese Netze ist eine effiziente Möglichkeit zur Deckung kommender Spitzenlasten. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung ist die technische Abstimmung von Netztemperaturen, die großflächige Versorgung der Kerngemeinden und die Planung einer späteren hydraulischen Anbindung an zentrale Tiefengeothermienetze.
Wirkung/Funktion	▪ Dekarbonisierung der Wärmeversorgung von Anschlussnehmern ▪ Nutzung von Synergien durch zentrale Infrastruktur und Erzeugungsanlagen, gebündeltem Einkauf sowie Bündelung von Wartung und Instandhaltung ▪ Erhöhte Versorgungssicherheit durch Erzeugungsredundanzen und Notdienste ▪ Reduzierte Marktpreisrisiken bei Selbsterzeugung von Energieträgern oder direkt nutzbarer Wärme, bei Nutzung von Abwärme und bei breiter Energieträgermischung
Initiator	▪ Gemeinden, Regionalwerk
Akteure	▪ Regionalwerk, Stadt- und Gemeindewerke, Bauämter ▪ Energieversorgungsunternehmen, -gesellschaften ▪ Tiefengeothermie-Unternehmen
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Konzessionsfrage klären - Kooperationsansätze mit Konzessionsinhabern in der Region prüfen - Eventuell Erwerb eigener Konzession im südlichen Teil des Betrachtungsraums ▪ Prüfung möglicher Betreiberkonstellationen. Als Beteiligte kommen in Frage: - Etablierte Energieversorgungsunternehmen - Externe Wärmeversorgungsunternehmen - Bürger - Gemeinde ▪ Schaffung dezentraler Teilnetze, die „tiefengeothermie-ready“ sind **Zeitplan im Falle einer konkreten Umsetzungsanbahnung** ▪ Vorlauf (3-5 Jahre) - Konzeption, Aktivierung von Akteuren und Kunden, Förderantrag erstellen, Machbarkeitsstudie erstellen lassen. - Geothermische Bohrungsplanung anstrengen oder anstoßen - Gründung einer Energiegesellschaft oder Vergabe von Bau und/oder Betrieb der ersten Teilnetze ▪ Umsetzung (Stufe 1) - Fertigstellung zentraler Bauabschnitte: +3 Jahre - Ausbau und Nachverdichtung: +6 Jahre - Netzpflege: Ausbau, Nachverdichtung und technisch-energetische Optimierung (dauerhaft) ▪ Weiterer/paralleler Ausbau analog Stufe 1
Kosten für Kommune	■■■■■ bei Beteiligung durch Gemeinde ■□□□□ bei Finanzierung durch Dritte

Finanzierungs-unterstützung	▪ Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) über die BAFA - Modul1: Machbarkeitsstudien (Förderquote: 50 %) - Modul2: Investitionsförderung (Förderquote: 40 %) ▪ KfW-Kredite mit Tilgungszuschuss „Erneuerbare Energien Premium (271,281) - Investitionskostenförderung für Netzwärmespeicher, -wärmepumpen und -leitungen
Klimaschutzrelevanz	■■■■■
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl der Anschlussnehmer ▪ Erreichte Anschlussleistung ▪ Abgesetzte Jahreswärmemenge ▪ Erreichte spezifische Treibhausgasemissionen
Hinweise	Das Regionalwerk Lech-Wertach-Stauden ist dabei, die o.g. Handlungsschritte anzustoßen.

W2.1 Wärmeverbund Hurlach–Neubaugebiet

Beschreibung	Im Gemeindegebiet Hurlach sind drei Biogasanlagen in Betrieb. Ein Biogasanlagenbetreiber versorgt bereits kommunale Gebäude und rund 40 Wohngebäude über ein Wärmenetz. Die Gemeinde Hurlach möchte einen zusätzlichen Wärmeverbund für das Neubaugebiet südlich des Von der Leyen Weg mit 35 Wohneinheiten prüfen. Als Ausgangspunkt für die Bewertung und gegebenenfalls spätere Umsetzung erstellt bifa eine Erstauslegung und Vorprüfung, siehe Abschnitt 7.5.1. In der Berechnung betrachtet wird eine Abwärmenutzung der nördlich des Neubaugebiets bestehenden Biogasanlage als Grundlast. Spitzenlasten werden über Erdwärmesonden in Verbindung mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpen und einen Elektro-Heizstab bereitgestellt. Aufgrund der Abwärme auf einem hohen Temperaturniveau wird von einem Netz mit einer Vorlauftemperatur von ca. 75 °C ausgegangen, dadurch kann eine vollständige Wärmeversorgung für Brauchwarmwasser und Heizenergie bereitgestellt werden. Eine Ausweitung des Wärmeverbunds auf benachbarte Bestandsgebäude wäre möglich. Grundsätzlich können auch andere Wärmequellen in Betracht gezogen werden. Auf Basis der Kostenvergleiche und der weiteren Vorzüge wird empfohlen, den Ansatz einer Wärmeverbundlösung weiter zu verfolgen. Wesentlich ist dabei, die Pflicht zum Anschluss der Neubauten an den Wärmeverbund rechtlich zu verankern.
Wirkung/Funktion	▪ Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung von Anschlussnehmern ▪ Keine Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas liefernden Staaten ▪ Effizienzgewinne durch Skalierungseffekte und Synergien ▪ Erhöhte Versorgungssicherheit durch Erzeugungsredundanzen und Notdienste ▪ Reduzierte Marktpreisrisiken bei lokaler oder eigener Erzeugung von Energieträgern (Option PV-Strom), bei Nutzung von Umwelt- und Abwärme und durch Energieträgermischung
Initiator	▪ Bauamt
Akteure	▪ Bauamt ▪ Biogasanlagenbetreiber ▪ ggf. Regionalwerk ▪ ggf. Energieversorger
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Vorlauf (2-3 Jahre) - Konzeption, Aktivierung von Akteuren und Kunden, Förderantrag erstellen, Machbarkeitsstudie erstellen lassen. - Energiegesellschaft gründen oder Vergabe von Bau und/oder Betrieb des Netzes ▪ Umsetzung - Fertigstellung zentraler Bauabschnitte +1 Jahr - ggf. Erweiterung auf angrenzende Bestandsgebäude +2 Jahre - Netzpflege: technisch-energetische Optimierung (dauerhaft)

Kosten für Kommune	■■■□□ bei Finanzierung durch Gemeinde ■□□□□ bei Finanzierung durch Dritte
Finanzierungs-unterstützung	▪ BAFA: Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) - Modul 1: Machbarkeitsstudien - Modul 2: Investitionskostenförderung ▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ Investitionskostenfinanzierung für Wärmenetze, -speicher und Anlagen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien
Klimaschutzrelevanz	■■□□□
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl der Anschlussnehmer ▪ Erreichte Anschlussleistung ▪ Abgesetzte Jahreswärmemenge ▪ Erreichter Primärenergiefaktor
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020) https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

W2.2 Ausbau des bestehenden Wärmenetzes in Hurlach

Beschreibung	Im Gemeindegebiet Hurlach sind drei Biogasanlagen in Betrieb. Ein Biogasanlagenbetreiber versorgt bereits kommunale Gebäude und rund 40 Wohngebäude über ein Netz mit treibhausgasarmer Wärme. Die Größe der Anlage lässt ein Potenzial zur Versorgung weiterer Gebäude erwarten, insbesondere in den Sommermonaten und der Übergangszeit. Für die Deckung von Spitzenleistungen könnte bei Bedarf ein zusätzlicher Wärmeerzeuger installiert werden. In südlicher Richtung, entlang der Iglinger Straße, könnte das Wärmenetz weiter ausgebaut werden. Hier wäre der Anschluss von rund 20 weiteren Wohngebäuden mit einem prognostizierten Wärmebedarf von 600 MWh/a möglich. Entlang der Ringstraße und Sonnenstraße könnten weitere gut 30 Gebäude bzw. 1.000 MWh/a angeschlossen werden. Durch einen anschließenden Ausbau des Wärmenetzes in nördlicher Richtung (Gartenstraße, Ringstraße) kann perspektivisch auch der Anschluss weiterer kommunaler Liegenschaften sowie ein Zusammenschluss mit einem möglichen Wärmenetz im Neubaugebiet „Alter Sportplatz“ erfolgen (Maßnahme W 2.1).
Wirkung/Funktion	▪ Erweiterung des Wärmeversorgungsgebiets ▪ Optimale Nutzung der lokalen Ressourcen zur Wärmebereitstellung, Abwärmenutzung ▪ Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern ▪ Bereitstellung treibhausgasarmer Wärme ▪ Verringerung der Treibhausgasemissionen im Gemeindegebiet
Initiator	▪ Bauamt
Akteure	▪ Bauamt ▪ Biogasanlagenbetreiber
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Ausbaumöglichkeiten mit Biogasanlagenbetreiber abstimmen ▪ Interesse und Energieverbräuche bei möglichen Anschlussnehmern abfragen ▪ Unterstützung des Netzbetreibers - Durch Planung und Kommunikation (z.B. bezüglich Abstimmung mit Landratsamt zu Netzverlegung in Kreisstraße) - durch Anschluss kommunaler Liegenschaften
Kosten für Kommune	■□□□□
Finanzierungs-unterstützung	-
Klimaschutzrelevanz	■■■■■

Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl der Anschlussnehmer ▪ gelieferte Jahreswärmemenge ▪ Treibhausgaseinsparung
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020) https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

W3 Wärmeverbund Oberottmarshausen

Beschreibung	Wärmeverbunde (Nahwärmenetze) sind effiziente, langfristig angelegte Wärmeversorgungslösungen mit hohem Klimaschutzpotenzial. Eine gemeinsam genutzte, zentrale Infrastruktur ermöglicht die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien für eine Vielzahl von Endkunden, den gebündelten Einkauf von Investitionsgütern und Brennstoffen sowie den Lastausgleich durch zeitlich unterschiedliche Heizbedarfe der Anschlussnehmer (Gleichzeitigkeit). Für die Gemeinde Oberottmarshausen wurde deshalb ein Wärmeverbund betrachtet, der folgendes umfasst: ▪ kommunale Liegenschaften zwischen Kornstraße und Bobinger Straße, ▪ Wohngebiet westlich der Bobinger Straße und nördlich der Eichenstraße. Als Ausgangspunkt für eine Bewertung erstellte bifa eine Erstbetrachtung und Vorprüfung, siehe Abschnitt 7.5.2. Für die Wärmeerzeugung wurde eine Erdsondenanlage in Verbindung mit einer Wärmepumpe betrachtet. Aufgrund der Versorgung von kommunalen Objekten und Bestandsgebäuden, wird von einer Wärmenetzvorlauftemperatur in Höhe von 75 °C ausgegangen, um eine sichere Versorgung mit Brauchwarmwasser und Heizenergie gewährleisten zu können. Auch andere Wärmequellen können für die Realisierung in Betracht gezogen werden. Die Kostenbetrachtung zeigt, dass für die Versorgung der Bestandswohngebäude kostengünstigere Einzelversorgungslösungen in Form von Pelletheizungen und Wärmepumpen zur Verfügung stehen. Die Gewinnung einer ausreichend hohen Zahl an Anschlussnehmern ist deshalb fraglich. Die im Gemeindewald jährlich nachwachsenden Holzmengen scheinen für eine Wärmeversorgung der kommunalen Liegenschaften ausreichend. In einem ersten Schritt ist deshalb die Wärmeversorgung der kommunalen Liegenschaften im Verbund mit Holzhackschnitzel aus dem Gemeindewald zu prüfen. Bei erfolgreicher Umsetzung ist anschließend – auf Basis der gewonnenen Erfahrungen, verfügbaren Holzpotenziale im Gemeindewald und gesicherten Versorgungswegen am Holzmarkt – der Ausbau des Wärmeverbundes auf umliegende Bestandsgebäude zu prüfen. Der Wärmeverbund der kommunalen Liegenschaften sollte deshalb für mögliche Erweiterung konzipiert sein.
Wirkung/Funktion	▪ Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung von Anschlussnehmern ▪ Keine Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas liefernden Staaten ▪ Reduzierte Marktpreisrisiken bei lokaler oder eigener Erzeugung von Energieträgern (Biomasse, PV-Strom) und durch Energieträgermischung
Initiator	▪ Gemeinde (Bauamt)
Akteure	▪ Gemeinde (Bauamt) ▪ ggf. Regionalwerk ▪ ggf. Energieversorger

Handlungsschritte und Zeitplan	Stufe 1 ▪ Machbarkeitsstudie für Wärmeversorgung der kommunalen Liegenschaften auf Basis von Hackschnitzeln aus Gemeindewald ▪ Umsetzung des kommunalen Wärmeverbunds Stufe 2 ▪ BEW-Machbarkeitsstudie (Modul 1) zur Ausweitung des kommunalen Wärmeverbunds auf Bestandsgebäude (Erfahrungen zum Betrieb und zur Brennstoffverfügbarkeit einfließen lassen) ▪ Gründung einer Energiegesellschaft prüfen ▪ Ggf. Vergabe von Bau und/oder Betrieb des Netzes ▪ Umsetzung - Schrittweise Umsetzung von Bauabschnitten - Kontinuierliche Nachverdichtung - Netzpflege: technisch-energetische Optimierung (dauerhaft) - Erweiterungsoptionen prüfen (dauerhaft)
Kosten für Kommune	■■■■■ bei Finanzierung durch Gemeinde ■□□□□ bei Finanzierung durch Dritte
Finanzierungs-unterstützung	Stufe 1 ▪ Förderung der Machbarkeitsstudie über ENP-Umsetzungsbegleitung prüfen ▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ Investitionskostenfinanzierung für Wärmenetze, -speicher und Anlagen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien Stufe 2 ▪ BAFA: Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) - Modul 1: Machbarkeitsstudien - Modul 2: Investitionskostenförderung ▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ Investitionskostenfinanzierung für Wärmenetze, -speicher und Anlagen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien
Klimaschutzrelevanz	■■■■■ Stufe 1: bezogen auf die Treibhausgasbilanz der Kommunalverwaltung ■■■□□ Stufe 2: bezogen auf Gesamtemissionen
Erfolgsindikatoren	▪ Erstellte Machbarkeitsstudien ▪ Umsetzung Stufe 1 ▪ Anzahl der Anschlussnehmer in Stufe 2 ▪ Erreichte Anschlussleistung ▪ gelieferte Jahreswärmemenge ▪ Erreichter Primärenergiefaktor
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020) https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

W4 Wärmeverbund Graben-Lagerlechfeld

Beschreibung	Wärmeverbunde (Nahwärmenetze) sind effiziente, langfristig angelegte Wärmeversorgungslösungen mit hohem Klimaschutzpotenzial. Eine gemeinsam genutzte, zentrale Infrastruktur ermöglicht die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien für eine Vielzahl von Endkunden, den gebündelten Einkauf von Investitionsgütern und Brennstoffen sowie den Lastausgleich durch zeitlich unterschiedliche Heizbedarfe der Anschlussnehmer (Gleichzeitigkeit). Für die Gemeinde Graben wurde deshalb ein Wärmeverbund im Ortsteil Lagerlechfeld betrachtet, der folgendes umfasst: ▪ Kommunale Liegenschaften Bahnhof, Pfarrheim und Kinderkrippe „Wirbelwind“ ▪ Wohngebiet westlich der Heimgartenstraße und östlich der Blumenstraße ▪ Wohngebäude in Bahnhofstraße und Grüntenweg ▪ Wohngebäude in Watzmannstraße und Zugspitzstraße Als Ausgangspunkt für eine Bewertung erstellte bifa eine Erstbetrachtung und Vorprüfung, siehe Abschnitt 7.5.3. Für die Wärmeerzeugung wurde eine Erdsondenanlage in Verbindung mit einer Wärmepumpe betrachtet. Aufgrund der Versorgung von kommunalen Objekten und Bestandsgebäuden, wird von einer Wärmenetzvorlauftemperatur in Höhe von 75 °C ausgegangen, um eine sichere Versorgung mit Brauchwarmwasser und Heizenergie gewährleisten zu können. Auch andere Wärmequellen können für die Realisierung in Betracht gezogen werden. Die Kostenbetrachtung zeigt, dass für die Versorgung der Bestandswohngebäude kostengünstigere Einzelversorgungslösungen in Form von Pelletheizungen und Wärmepumpen zur Verfügung stehen. Die Gewinnung einer ausreichend hohen Zahl an Anschlussnehmern ist deshalb fraglich. Durch die Einbindung von Holzhackschnitzeln in die Wärmeerzeugung könnten die Wärmegestehungskosten verringert werden. Im Hinblick auf die perspektivische Verfügbarkeit und die daraus resultierende Preisrisiken des Brennstoffes ist dies kritisch zu prüfen.
Wirkung/Funktion	▪ Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung von Anschlussnehmern ▪ Keine Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas liefernden Staaten ▪ Erhöhte Versorgungssicherheit durch Erzeugungsredundanzen und Notdienste
Initiator	▪ Gemeinde (Bauamt)
Akteure	▪ Gemeinde (Bauamt) ▪ ggf. Regionalwerk ▪ ggf. Energieversorger
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Vorlauf (2-3 Jahre) - Konzeption und Prüfung von Einsparpotenzialen, Aktivierung von Akteuren und Kunden, Förderantrag erstellen, Machbarkeitsstudie erstellen lassen - Energiegesellschaft gründen oder Vergabe von Bau und/oder Betrieb des Netzes ▪ Umsetzung - Fertigstellung zentraler Bauabschnitte +3 Jahre - Ausbau und Nachverdichtung +5 Jahre - Netzpflege: technisch-energetische Optimierung (dauerhaft) ▪ Erweiterungsoptionen prüfen (dauerhaft)
Kosten für Kommune	■■■■■ bei Finanzierung durch Gemeinde ■□□□□ bei Finanzierung durch Dritte
Finanzierungsunterstützung	▪ BAFA: Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) - Modul 1: Machbarkeitsstudie - Modul 2: Investitionskostenförderung ▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ Investitionskostenfinanzierung für Wärmenetze, -speicher und Anlagen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien
Klimaschutzrelevanz	■■■■□

Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl der Anschlussnehmer ▪ Erreichte Anschlussleistung ▪ Gelieferte Jahreswärmemenge ▪ Erreichter Primärenergiefaktor
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020) https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

W5 Wärmeverbund Bobingen-Siedlung und Wehringen

Beschreibung	Wärmeverbunde (Nahwärmenetze) sind effiziente, langfristig angelegte Wärmeversorgungslösungen mit hohem Klimaschutzpotenzial. Eine gemeinsam genutzte, zentrale Infrastruktur ermöglicht die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien für eine Vielzahl von Endkunden, den gebündelten Einkauf von Investitionsgütern und Brennstoffen sowie den Lastausgleich durch zeitlich unterschiedliche Heizbedarfe der Anschlussnehmer (Gleichzeitigkeit). Für die Gemeinden Bobingen und Wehringen wurde ein interkommunaler Wärmeverbund betrachtet, der folgendes umfasst: ▪ Neues Gewerbegebiet Höchst in Wehringen ▪ Grundschule an der Singold, Außenstelle Siedlung ▪ Bobinger Ortsteil Siedlung östlich Hindenburgstraße, Eschenweg und südlich der Herbststraße Als Ausgangspunkt für eine Bewertung erstellte bifa eine Erstbetrachtung und Vorprüfung, siehe Abschnitt 7.5.4. Für die Wärmeerzeugung wurde Abwärme aus dem Industriepark Bobingen betrachtet. Hier dient Kühlwasser bei ca. 30 °C als Wärmequelle. Mit Hilfe einer Wärmepumpe wird die Abwärme auf eine Wärmenetzvorlauftemperatur von 75 °C angehoben, um eine sichere Versorgung mit Brauchwarmwasser und Heizenergie gewährleisten zu können. Darüberhinausgehende Leistungsbedarfe werden über eine Luft-Wärmepumpe bereitgestellt. Der abgekühlte Kühlwasserstrom wird anschließend – wie bisher bereits – einem Oberflächengewässer zugeleitet. Auch andere Wärmequellen können für die Realisierung in Betracht gezogen werden.
Wirkung/Funktion	▪ Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung von Anschlussnehmern ▪ Keine Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas liefernden Staaten ▪ Erhöhte Versorgungssicherheit durch Erzeugungsredundanzen und Notdienste ▪ Reduzierte Marktpreisrisiken bei lokaler oder eigener Erzeugung von Energieträgern (Biomasse, PV-Strom) und durch Energieträgermischung
Initiator	▪ Gemeinde/Stadt (Bauamt)
Akteure	▪ Gemeinde/Stadt (Bauamt) ▪ Industriepark Bobingen ▪ ggf. Regionalwerk ▪ ggf. Energieversorger
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Vorlauf (2-3 Jahre) - Konzeption, Aktivierung von Akteuren und Kunden, Förderantrag erstellen, Machbarkeitsstudie erstellen lassen - Energiegesellschaft gründen oder Vergabe von Bau und/oder Betrieb des Netzes ▪ Umsetzung - Fertigstellung zentraler Bauabschnitte +3 Jahre - Ausbau und Nachverdichtung +5 Jahre - Netzpflege: Ausbau, Nachverdichtung und technisch-energetische Optimierung (dauerhaft)
Kosten für Kommune	■■■■■ bei Finanzierung durch Kommunen ■□□□□ bei Finanzierung durch Dritte

Finanzierungs-unterstützung	▪ BAFA: Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) - Modul 1: Machbarkeitsstudie - Modul 2: Investitionskostenförderung ▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ Investitionskostenfinanzierung für Wärmenetze, -speicher und Anlagen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien
Klimaschutzrelevanz	■■■□□
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl der Anschlussnehmer ▪ Erreichte Anschlussleistung ▪ Gelieferte Jahreswärmemenge ▪ Erreichter Primärenergiefaktor
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020) https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

W6 Wärmeverbund Kleinaitingen

Beschreibung	Wärmeverbunde (Nahwärmenetze) sind effiziente, langfristig angelegte Wärmeversorgungslösungen mit hohem Klimaschutzpotenzial. Eine gemeinsam genutzte, zentrale Infrastruktur ermöglicht die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien für eine Vielzahl von Endkunden, den gebündelten Einkauf von Investitionsgütern und Brennstoffen sowie den Lastausgleich durch zeitlich unterschiedliche Heizbedarfe der Anschlussnehmer (Gleichzeitigkeit). Für die Gemeinde Kleinaitingen wurde ein Wärmeverbund betrachtet, der folgendes umfasst: ▪ Kommunale Liegenschaften Rathaus, Feuerwehr, Mehrzweckhalle, Kindergarten und Bauhof ▪ Gesamte Wohnbebauung, zwischen der Keltenstraße im Norden, der Ostendstraße im Osten, der Haupt- und Feldstraße im Westen und Grünten- und Zugspitzstraße im Süden Als Ausgangspunkt für eine Bewertung erstellte bifa eine Erstbetrachtung und Vorprüfung, siehe Abschnitt 7.5.5. Für die Wärmeversorgung ist eine Wärmebereitstellung mit Tiefengeothermie durch die Firma Oneo angenommen. Eine rund 400 m lange Leitung, zur „Abholung“ der Wärme an einer Tiefenbohrung südlich der Wohnbebauung wurde berücksichtigt. Ebenfalls ist eine Wärmepumpe angesetzt, die das Temperaturniveau des Tiefenwassers auf eine Wärmenetzvorlauftemperatur von 75 °C anhebt, um eine sichere Versorgung mit Brauchwarmwasser und Heizenergie gewährleisten zu können. Die Integration der Abwärme aus der Biogasanlage kann die Wärmegestehungskosten des Wärmeverbunds senken und insbesondere in den ersten Jahren des Netzaufbaus als Hauptwärmeerzeuger dienen, bis eine Nutzung von Tiefenwasser realisiert ist.
Wirkung/Funktion	▪ Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung von Anschlussnehmern ▪ Keine Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas liefernden Staaten ▪ Erhöhte Versorgungssicherheit durch Erzeugungsredundanzen und Notdienste ▪ Reduzierte Marktpreisrisiken bei lokaler oder eigener Erzeugung von Energieträgern (Biomasse, Tiefengeothermie) und durch Energieträgermischung
Initiator	▪ Gemeinde (Bauamt)
Akteure	▪ Gemeinde (Bauamt) ▪ Fa. Oneo ▪ Biogasanlagenbetreiber ▪ ggf. Regionalwerk ▪ ggf. Energieversorger

Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Vorlauf (2-3 Jahre) - Konzeption, Aktivierung von Akteuren und Kunden, Förderantrag erstellen, Machbarkeitsstudie erstellen lassen, Wärmelieferkonditionen verhandeln - Energiegesellschaft gründen oder Vergabe von Bau und/oder Betrieb des Netzes - Abstimmung des Wärmenetzausbaus mit der zeitlichen Verfügbarkeit der einzubindenden Wärmequellen ▪ Umsetzung - Fertigstellung zentraler Bauabschnitte +3 Jahre - Ausbau und Nachverdichtung +5 Jahre ▪ Netzpflege: Ausbau, Nachverdichtung und technisch-energetische Optimierung (dauerhaft)
Kosten für Kommune	■■■■■ bei Finanzierung durch Gemeinde ■□□□□ bei Finanzierung durch Dritte
Finanzierungs-unterstützung	▪ BAFA: Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) - Modul 1: Machbarkeitsstudie - Modul 2: Investitionskostenförderung ▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ Investitionskostenfinanzierung für Wärmenetze, -speicher und Anlagen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien
Klimaschutzrelevanz	■■■■■
Erfolgsindikatoren	▪ Anzahl der Anschlussnehmer ▪ Erreichte Anschlussleistung ▪ Gelieferte Jahreswärmemenge ▪ Erreichter Primärenergiefaktor
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020) ▪ https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

W7 Nutzungsmöglichkeiten von Abwärmepotenzialen prüfen

Beschreibung	In Abschnitt 4.7 sind Abwärmepotenziale dargestellt, die im Zuge der Bestandsaufnahme im Betrachtungsraum identifiziert wurden. Die Abwärme von Biogasanlagen wird teilweise bereits in Wärmenetzen oder zu Trocknungszwecken genutzt. Die in Tabelle 4.9 aufgeführten Unternehmen haben im Energieatlas Bayern ein Abwärmepotenzial angegeben. Es wird empfohlen Kontakt zu diesen Unternehmen aufzunehmen, um die verfügbaren Abwärmepotenziale und die Voraussetzungen für eine Wärmeabgabe zu konkretisieren. Anschließend können auf dieser Grundlage Wärmeversorgungskonzepte erarbeitet werden. In Erweiterung können die in Tabelle 4.10 genannten Unternehmen auf ein mögliches Abwärmepotenzial hin kontaktiert werden.
Wirkung/Funktion	▪ Treibhausgaseinsparung durch Nutzung bisher ungenutzter Abwärme ▪ Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern
Initiator	▪ Gemeinde
Akteure	▪ Gemeinde ▪ Unternehmen mit Abwärmepotenzial ▪ ggf. Regionalwerk oder möglicher Wärmenetzbetreiber
Handlungsschritte und Zeitplan	▪ Kontaktaufnahme mit wärmeabgebenden Unternehmen - Aktualität der Abwärmepotenziale - Leistung, Temperatur, Medium und Kontinuität der Wärmeabgabe - Wirtschaftliche Voraussetzungen für die Wärmeabgabe ▪ Abwärmenutzungskonzept erstellen ▪ Abwärmeabgabe und Wärmelieferungen vertraglich fixieren ▪ Maßnahme umsetzen

Kosten für Kommune	■■■■□ bei Finanzierung durch Gemeinde ■□□□□ bei Finanzierung durch Dritte
Finanzierungs-unterstützung	▪ BAFA: Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) - Modul 1: Machbarkeitsstudie - Modul 2: Investitionskostenförderung ▪ KfW: Kredite im Programm „Erneuerbare Energien – Standard (270)“ Investitionskostenfinanzierung für Wärmenetze, -speicher und Anlagen zur Wärme-erzeugung auf Basis erneuerbarer Energien
Klimaschutzrelevanz	■■□□□
Erfolgsindikatoren	▪ Abgeschlossenes Abwärmenutzungskonzept ▪ Vertraglich fixierte Wärmeabgabe ▪ Anzahl der Anschlussnehmer ▪ Erreichte Anschlussleistung ▪ Gelieferte Jahreswärmemenge ▪ Erreichter Primärenergiefaktor
Hinweise	Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz (LfU 2020) ▪ https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00152.htm

9 Quellenverzeichnis

BDEW (2023): Stromverbrauch der Haushalte in Deutschland; AG Energiebilanzen; BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.; Berlin; 2023

BMVI (2019): Mobilität in Deutschland – MiD; Ergebnisbericht für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; Bonn; 2019

BMWK (2022): Energiesparen für mehr Unabhängigkeit – Arbeitsplan Energieeffizienz; Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Berlin; 17.05.2022

dena (2024): dena-GEBÄUDEREPORT 2024 – Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand; Hrsg.: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena); Berlin; 2024

dena (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien; zuletzt abgerufen am 18.11.2024 unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/Vergleich_der_Big_5_Klimaneutralitaetsszenarien.pdf

FNR (2016): Leitfaden Biogas – Von der Gewinnung zur Nutzung; Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR); Gülzow-Prüzen; 2016

Daniel-Gromke, J; Rensberg, N.; Denysenko, V. et al. (2020): Optionen für Biogas-Bestandsanlagen bis 2030 aus ökonomischer und energiewirtschaftlicher Sicht. Texte 24/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Destatis (2024): Energie – Energieerzeugung – Zum Thema; Statistisches Bundesamt; zuletzt abgerufen am 14.10.2024 unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/_inhalt.html#

Destatis (2018): Umweltökonomische Gesamtrechnung – Transportleistung und Energieverbrauch im Straßenverkehr 2005-2016; Statistisches Bundesamt; Wiesbaden; 2018

Energy (2025): PPA-Preismonitor. Energy Brainpool; zuletzt abgerufen am 29.01.2025 unter https://www.energybrainpool.com/sites/default/files/2023-05/ppa_preismonitor_basic-energy_brainpool.pdf

Erdwerk (2024): Bad Wörishofen Erdwerk GmbH; zuletzt abgerufen am 06.11.2024 unter: https://www.erdwerk.com/de/bad-woerishofen

GeotIS (2024): Geothermisches Informationssystem; Hrsg.: LIAG-Institut für Angewandte Geophysik, rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts; zuletzt abgerufen am 18.11.2024 unter: https://www.geotis.de/geotisapp/geotis.php

Gierkink et al. (2022): Vergleich der „Big 5“-Klimaneutralitätsszenarien. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI), www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/04/2022-03-16-Szenarienvergleich_final.pdf

Ifeu (2019): BISKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal - Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland; Ifeu; Heidelberg; 2019

ISE (2024): Photovoltaik- und Batteriespeicherzubau in Deutschland in Zahlen – Auswertung des Marktstammdatenregisters – Stand Februar 2024; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; Freiburg; 2024

IÖW (2023): Erfassung und Bewertung des Energieeinsparpotenzials von digitalen Anwendungen im Strom- und Wärmebereich; Hrsg.: Institut für ökologische Wirtschaftsförderung (IÖW) in Kooperation mit ifeu – Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg gGmbH; Berlin; 2023

IHK (2023): Firmendaten im Internet; Industrie- und Handelskammern in Bayern; zuletzt abgerufen am 11.12.2023 unter: https://firmen-in-bayern.de/sites/fitby/welcome.aspx

KBA (2023): Fahrzeugzulassungen (FZ) – Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Gemeinden zum 01. Januar 2023; Kraftfahrt-Bundesamt; Flensburg; 2023

KBA (2022): Verkehr in Kilometern (VK) – Zeitreihe Jahre 2014 – 2021; Kraftfahrt-Bundesamt; Flensburg; 2022

LfStat (2022): Statistik kommunal 2022; Bayerisches Landesamt für Statistik; Fürth; 2023

LfStat (2023): Energieverbrauch (Verarbeitendes Gewerbe) Landkreis; Bayerisches Landesamt für Statistik; Fürth; 2023

LfU (2024a): Wasserkraft-Potenzial – Modernisierung und Nachrüstung; Bayerisches Landesamt für Umwelt; zuletzt abgerufen am 13.11.2024 unter: https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wasser/potenzial/modernisierung

LfU (2024b): Kartenteil im Energie-Atlas Bayern; Bayerisches Landesamt für Umwelt; zuletzt abgerufen am 05.11.2024 unter: https://www.energieatlas.bayern.de/

LfU (2023): Wasserkraft-Potenzial – Informationen zu Datenquellen und Methodik im Kartenteil des Energie-Atlas Bayern; Bayerisches Landesamt für Umwelt; https://www.karten.energieatlas.bayern.de/

LfU (2021a): Energie-Atlas Bayern – Mischpult „Energiemix Bayern vor Ort“, Mischpult „Wärme“ – Informationen zur Berechnung; Bayerisches Landesamt für Umwelt; 2021

LfU (2021 b): Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2021: Struktur- und abfallwirtschaftliche Daten der Körperschaften; Bayerisches Landesamt für Umwelt; Augsburg; 2022

LfU (2020): Wärmenetze in Kommunen – Leitfaden. In zehn Schritten zum Wärmenetz; Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie; Augsburg, München; 2017

LWF (2020): Energieholzmarkt Bayern 2018 – Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch; Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Freising; 2020

Öko-Institut (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland; Öko-Institut e.V.; Berlin; 2021; zuletzt abgerufen am 06.12.2024 unter: https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/Oeko-Institut-2021-Die-Wasserstoffstrategie-2.0-fuer-Deutschland.pdf

Schoof, R. (2025): Das H_2-KernnetzPlus - wie kommt der Wasserstoff zum Kunden? Vortrag auf der regionalen Wasserstoffkonferenz, 05.02.2025, Augsburg

StMWi (2024): Erteilte Bergbauberechtigungen, zuletzt abgerufen am 05.11.2024; https://www.stmwi.bayern.de/energie/bodenschaetze/#c3725

SRU (2020): Sachverständigenrat für Umweltfragen – Umweltgutachten 2020: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa; Berlin; 2020

Steyer, M.; Barth, H.; Sambale, M. (2024): Kurzfassung – Wärmepotenzial Schwaben; Hochschule Kempten, Energie- und Umweltzentrum Allgäu gemeinnützige GmbH; Kempten; 2024

TU Dresden, DWD (2019): Quantitative Windklimatologie für Windenergieapplikationen in Höhen über 100 m (QuWind100); TU Dresden und Deutscher Wetterdienst; Förderkennzeichen 0325940A und 0325940 B; 2019

UBA (2018): Biogaserzeugung aus Gülle – Handlungsempfehlungen für den Ausbau des Gülleeinsatzes in Biogasanlagen; Hrsg.: Umweltbundesamt; 2018; zuletzt abgerufen am 29.06.2023 unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_flyer_guelle_190703_barrierefrei.pdf

UBA (2023a): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2022; Hrsg.: Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau; 2023

UBA (2023 b): Photovoltaik-Freiflächenanlagen; Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau; zuletzt abgerufen am 16.10.2024 unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/photovoltaik/photovoltaik-freiflaechenanlagen#flacheninanspruchnahme-durch-photovoltaik-freiflachenanlagen

UBA (2009): Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen; Hg.: Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau 2009

Vbw/Prognos (2023): Strompreisprognose – Präsentation und Ergebnisse erstellt von Prognos; vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V.; 2023

Veolia (2024): Veolia schließt Biomassekraftwerk am Standort Großaitingen; Pressemitteilung vom 15.02.2024; zuletzt abgerufen am 06.12.2024 unter: https://newsroom.veolia.de/pressreleases/veolia-schliesst-biomassekraftwerk-am-standort-grossaitingen-3303471

WindBG (2023): Gesetz zur Festlegung von Flächenbedarfen für Windenergieanlagen an Land (Windenergieflächenbedarfsgesetz – WindBG); zuletzt geändert am 22.03.2023

ZENSUS (2011): ZENSUS-Befragungen 2011; Statistisches Bundesamt; Wiesbaden; 2011

Zoll (2024): Steuerfreie Verwendung von Strom; Zoll; zuletzt abgerufen am 29.01.2025 unter: https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verbrauchsteuern/Strom/Steuerbeguenstigung/Steuerfreie-Verwendung/steuerfreie-verwendung_node.htm