

# **Digitaler Energienutzungsplan**

**Landkreis Regensburg**

**Markt Kallmünz**

## **Digitaler Energienutzungsplan**

### **Landkreis Regensburg - Markt Kallmünz**

Auftraggeber:

**Landkreis Regensburg**

**Altmühlstraße 3**

**93059 Regensburg**

Auftragnehmer:

**Institut für Energietechnik IfE GmbH**

**an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden**

**Kaiser-Wilhelm-Ring 23a**

**92224 Amberg**

Gefördert durch das

**Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie**

**[www.stmwi.bayern.de](http://www.stmwi.bayern.de)**

Bearbeitungszeitraum:

**Juni 2021 bis Dezember 2022**

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Nomenklatur .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Projektablauf und Akteursbeteiligung .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Analyse der energetischen Ausgangssituation .....</b>	<b>10</b>
3.1 Methodik und Datengrundlage.....	10
3.1.1 Definition der Verbrauchergruppen .....	10
3.1.2 Datengrundlage und Datenquellen.....	11
3.2 Energieinfrastruktur .....	12
3.3 Sektor Wärme .....	13
3.3.1 Gebäudescharfes Wärmekataster .....	13
3.3.2 Wärmebedarf und Anteil erneuerbare Energien .....	16
3.4 Sektor Strom .....	17
3.5 Sektor Verkehr .....	20
3.6 CO <sub>2</sub> -Bilanz.....	21
<b>4 Potenzialanalyse .....</b>	<b>23</b>
4.1 Energetische Klärschlammverwertung für den Landkreis Regensburg.....	23
4.1.1 Einleitung .....	23
4.1.2 Technische Optionen der Klärschlammverwertung.....	24
4.1.3 Aufbau einer fundierten Datengrundlage.....	33
4.1.4 Stand und Potential der Klärschlammfäulung .....	38
4.1.5 Definition einer Entwässerungsstruktur .....	40
4.1.6 Möglichkeiten der Klärschlammverwertung.....	42
4.1.7 Zusammenfassung und Ausblick.....	46
4.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz .....	49
4.2.1 Gebäudescharfes Sanierungskataster.....	49
4.2.2 Private Haushalte .....	51

---

4.2.3	Kommunale Liegenschaften / Liegenschaften des Landkreises.....	55
4.2.4	Wirtschaft.....	56
4.3	Transformationsprozesse.....	57
4.3.1	Elektrifizierung im Sektor Mobilität .....	57
4.3.2	Elektrifizierung durch den Einsatz von Wärmepumpen (Power to Heat).....	57
4.4	Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien .....	59
4.4.1	Solarthermie und Photovoltaik .....	60
4.4.2	Wasserkraft .....	66
4.4.3	Biomasse .....	67
4.4.4	Windkraft .....	72
4.4.5	Kraft-Wärme-Kopplung.....	74
4.4.6	Geothermie .....	75
<b>5</b>	<b>Entwicklungsszenarien .....</b>	<b>80</b>
5.1	Energiebedarf.....	80
5.2	Erzeugung.....	82
<b>6</b>	<b>Kommunenspezifische Ergebnisse des Marktes Kallmünz.....</b>	<b>86</b>
6.1	Gemeindesteckbrief .....	86
6.2	Maßnahmenkatalog .....	88
6.3	Leitprojekt – PV-Screening für die kommunalen Gebäude des Marktes Kallmünz... 90	
6.3.1	Allgemeine Vorgehensweise im PV-Screening.....	90
6.3.2	Liegenschaft: Verwaltungsgebäude Kallmünz .....	93
6.3.3	Handlungsempfehlung .....	95
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>98</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>99</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>101</b>

## Nomenklatur

AIE	Amt für ländliche Entwicklung
APEE	Anreizprogramm für Energieeffizienz
ASUE	Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch
Bafa	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW	Blockheizkraftwerk
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
DHH	Doppelhaushälfte
EE	Erneuerbare Energien
EM	Einzelmaßnahme
ENP	Energienutzungsplan
EW	Einwohnerwert
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GK	Größenklasse
GK 1	1 – 1.000 EW
GK 2	1.001 – 5.000 EW
GK 3	5.001 – 10.000 EW
GK 4	10.001 – 100.000 EW
JDL	Jahresdauerlinie
JGK	Jahresgesamtkosten
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
MAP	Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien am Wärmemarkt
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
NH <sub>4</sub> -N	Ammoniumnitrat
NWG	Nichtwohngebäude
PV	Photovoltaik
TFZ	Technologie- und Förderzentrum
THG	Treibhausgas

Trm	Trassenmeter
TS	Trockensubstanz
TWW	Trinkwarmwasser
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WE	Wohneinheit, Wärmeerzeuger
WG	Wohngebäude
WGK	Wärmegestehungskosten
WP	Wärmepumpe

# 1 Einleitung

Mit dem digitalen Energienutzungsplan für den Landkreis Regensburg wird ein kommunenscharfes Instrument zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieerzeugungs- und Energieversorgungsstruktur erarbeitet. Der Fokus liegt dabei auf der Identifizierung und dem Aufzeigen von konkreten Handlungsmöglichkeiten vor Ort, um die Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen und den Ausbau erneuerbarer Energien zu forcieren. Der digitale Energienutzungsplan umfasst

- eine umfassende Bestandsaufnahme der derzeitigen Energieinfrastruktur mit einer detaillierten Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz in den Bereichen Strom und Wärme,
- ein digitales Energiemodell mit gebäudescharfem Wärmekataster in den Verbrauchergruppen private Haushalte, kommunale Liegenschaften und Wirtschaft
- sowie eine gebäudespezifische Analyse des Sanierungspotenzials,
- eine Potenzialanalyse zur energetische Klärschlammverwertung,
- eine standortspezifische Potenzialanalyse zum Ausbau erneuerbarer Energieträger,
- einen Maßnahmenkatalog mit konkreten Projekten zur weiteren Umsetzung und
- vertiefte Ausarbeitung eines Leitprojektes für jede Kommune

Die Erstellung des Energienutzungsplans erfolgte im Auftrag des Landkreises und in Kooperation mit allen Städten, Märkten und Gemeinden. Das Projekt wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

Hinweis: Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des digitalen Energienutzungsplans für den Landkreis Regensburg zusammen. Die kommunenspezifischen Ergebnisse für den Markt Kallmünz sind in Kapitel 6 dargestellt.

## **Datenschutz:**

Die Erstellung eines Energienutzungsplans setzt zum Teil die Erhebung und Verwendung von Daten voraus, die zumindest mittelbar einen Personenbezug aufweisen können (zum Beispiel Datenerhebungsbögen, Verbrauchsangaben und Ähnliches). Auch wenn es sich dabei ausschließlich um energie-relevante Informationen handelt und nicht um Informationen zu Personen selbst, werden im folgenden **Hauptteil** des Abschlussberichts ausschließlich zusammengefasste und anonymisierte Daten dargestellt, welche keinen unmittelbaren Rückschluss auf die personenbezogenen Daten zulassen.

## 2 Projektablauf und Akteursbeteiligung

Die Entwicklung des digitalen Energienutzungsplans für den Landkreis Regensburg erfolgte in mehreren Projektphasen. Zuerst wurde auf Basis einer umfassenden Bestandsaufnahme eine fortschreibbare und detaillierte Energiebilanz für Strom und Wärme im Ist-Zustand (Jahr 2020) erstellt. Dabei wurde zwischen den Verbrauchergruppen „Private Haushalte“, „Kommunale Liegenschaften“ und „Wirtschaft“ unterschieden. Die Energieströme in der Kommune wurden, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Energieträgern (Strom, Erdgas, Heizöl, Biomasse, ...), erfasst und der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung ermittelt. Ausgehend von der energetischen Ausgangssituation wurde der CO<sub>2</sub>-Ausstoß berechnet. Als zentrales Ergebnis dieser Projektphase wurde ein gebäudescharfes Wärmekataster ausgearbeitet.

Im nächsten Schritt wurde verbrauchergruppenspezifisch untersucht, welche Energieeinsparpotenziale und Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz realistisch ausgeschöpft werden können. Ebenso wurden die erschließbaren Ausbaupotenziale regionaler erneuerbarer Energieträger analysiert.

Zentrales Element des digitalen Energienutzungsplans ist die Ausarbeitung eines Maßnahmenkatalogs für alle Kommunen des Landkreises und den Landkreis selbst, der konkrete Projekte als Basis der weiteren Umsetzung beschreibt. Dieser Maßnahmenkatalog wurde in enger Absprache mit kommunalen Akteuren in zwei Abstimmungsrunden ausgearbeitet und während des Prozesses konkretisiert.

Der zeitliche und inhaltliche Projektablauf des Energienutzungsplans ist zusammenfassend in Abbildung 1 dargestellt. Für die Projektkoordination und die Abstimmung zentraler Fragestellungen wurden regelmäßige Abstimmungsrunden mit Vertretern des Landratsamtes und einzelnen Kommunen durchgeführt („Abstimmungstermin mit den Kommunen“). Die Abstimmung der kommunenspezifischen Ergebnisse und regional spezifischer Rahmenbedingungen erfolgte im Rahmen von Kommunalterminen mit Vertretern der jeweiligen Kommunen.



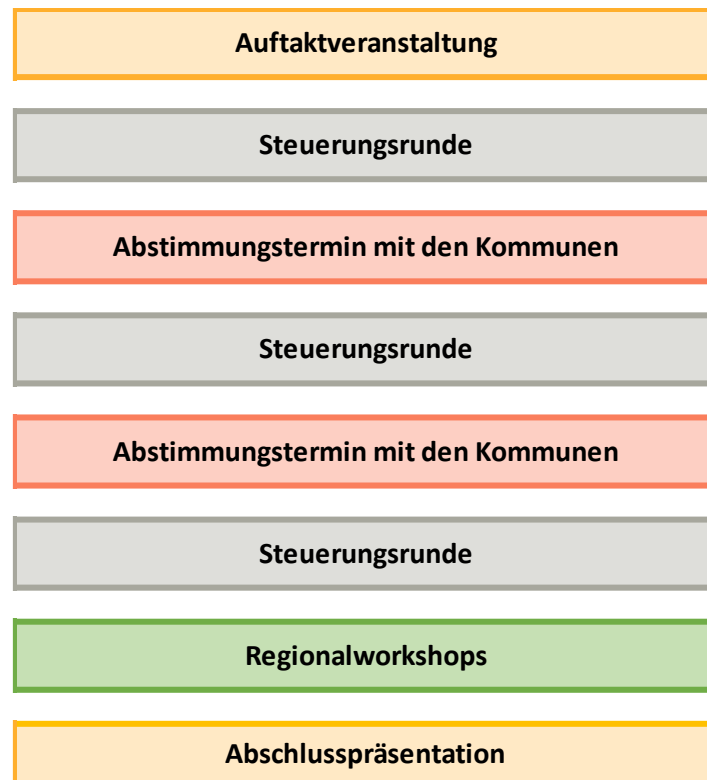


Abbildung 1: Projektablauf und Einbindung der Akteure

### **3 Analyse der energetischen Ausgangssituation**

#### **3.1 Methodik und Datengrundlage**

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans wird nach dem sogenannten Territorialprinzip bilanziert. Hierbei werden die Energieverbräuche sowie die Potenziale (Strom und Wärme) jeweils nur innerhalb des Landkreises mit seinen Kommunen betrachtet. Dies bedeutet, dass nur Energieverbräuche innerhalb der Gemeindegrenzen erfasst und bilanziert werden und der Anteil erneuerbarer Energien sich rein aus den Erzeugungsmengen der Anlagen im jeweiligen Gemeindegebiet zusammensetzt. Die Summe der Werte aller einzelnen Kommunen des Landkreises bildet dann den Landkreis ab (Bottom-Up-Prinzip).

##### **3.1.1 Definition der Verbrauchergruppen**

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans werden folgende Verbrauchergruppen definiert:

###### **a) Private Haushalte**

Die Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ umfasst alle zu Wohnzwecken genutzten Flächen im Betrachtungsgebiet. Dies schließt sowohl Wohnungen in Wohngebäuden als auch in Nicht-Wohngebäuden (z. B. hauptsächlich gewerblich genutzte Halle mit integrierter Wohnung) ein.

###### **b) Kommunale Liegenschaften**

In der Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften“ werden alle Liegenschaften der Kommune, inkl. Straßenbeleuchtung und gemeindeeigene Ver- und Entsorgungseinrichtungen, zusammengefasst. Hierfür konnte auf gebäudescharfe Energieverbrauchsdaten der Kommunen zurückgegriffen werden.

###### **c) Wirtschaft**

In der Verbrauchergruppe „Wirtschaft“ werden alle Energieverbraucher zusammengefasst, die nicht in eine der Verbrauchergruppen „Private Haushalte“ oder „Kommunale Liegenschaften“ fallen. Dies sind z. B. Betriebe aus Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie. Auch Landwirtschafts- und offiziell als Tourismusbetriebe gemeldete Unternehmen sind dieser Verbrauchergruppe zugeordnet.

### 3.1.2 Datengrundlage und Datenquellen

Alle Datenerhebungen, Analysen und Berechnungen im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans beziehen sich auf das Bilanzjahr 2020. Für das Jahr 2021 lag während der Projektbearbeitung keine vollständige Datenbasis vor. Die Analyse des Energieverbrauchs stützt sich auf die nachfolgenden Datenquellen:

- Energieabsatz- und Einspeisedaten der lokal tätigen Energieversorgungsunternehmen für die leitungsgebundenen Energieträger Strom (inkl. Heizstrom) und Erdgas. Hierfür wurden exakte Netzabsatzdaten für das Jahr 2020 zur Verfügung gestellt.
- Gebäudescharfe Erfassung des Energieverbrauchs der kommunalen Liegenschaften und der Liegenschaften des Landkreises mittels Erfassungsbogen.
- Datenerhebungsbogen im Bereich der Wirtschaftsbetriebe
- Datenabfrage Solarthermie: Die Gesamtfläche, der je Kommune installierten Solarthermieanlagen, wurde mit Hilfe des Solaratlas, einem interaktiven Auswertungssystem für den Datenbestand aus dem bundesweiten „Marktanreizprogramm Solarthermie“, ermittelt [BAFA Solar]. Die Aufstellung umfasst alle Kollektortypen (Flachkollektoren, Vakuum-Röhrenkollektoren) und Anwendungen (Warmwasserbereitstellung und Heizungsunterstützung).
- Wärmebereitstellung aus Erdwärme: Die Wärmeerzeugung aus oberflächennaher Geothermie (Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung) kann aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht eigens aufgeschlüsselt werden, ist jedoch über den Stromverbrauch (Heizstrom) zum Antrieb der Wärmepumpen in der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz enthalten.
- Öffentlich zugängliche statistische Daten (z. B. Statistik Kommunal).
- Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung (z. B. 3D-Gebäude- und Geländemodell, Laserscandaten, etc.) zur Simulation des Wärmekatasters.
- Für die Analyse des Endenergiebedarfs im Sektor Mobilität wurden Veröffentlichungen über den Bundesweiten Endenergieverbrauch nach Kraftstoffarten des Bundesverkehrsministeriums herangezogen

## 3.2 Energieinfrastruktur

**Hinweis:**

Die Leitungstrassen der Energieinfrastruktur werden dem Auftraggeber in digitaler Form im shape-Format bereitgestellt. Die darin abgebildeten Darstellungen der Energieinfrastrukturen sind eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Erstellung des Energienutzungsplans und dienen als Übersichtsplan zur Erstinformation. Die tatsächliche Lage der Leitungen kann von den Plänen abweichen; neue Leitungen können nach Fertigstellung des Energienutzungsplans entstanden sein. Die Darstellungen ersetzen daher keine Planauskunft. Diese ist für konkrete Vorhaben stets bei den zuständigen Netzbetreibern einzuholen.

### Wärmenetze

In zahlreichen Kommunen wurden Wärmenetze als leitungsgebundene Infrastruktur erfasst. Hierzu zählen u.a. Nahwärmenetze mit Nutzung der Abwärme aus Biogasanlagen und Fernwärmenetze.

### Stromnetz

Das Stromnetz im Landkreis Regensburg wird insgesamt von fünf Netzbetreibern betrieben:

- Bayernwerk AG
- Elektrizitätswerk Wörth a.d. Donau Rupert Heider & Co. KG
- REWAG Regensburger Energie- und Wasserversorgung AG & Co KG
- Stadtwerke Hemau
- Stromversorgung Schierling eG

Für das Landkreisgebiet liegen vollständige Netzabsatzdaten und Daten zur Stromeinspeisung aller Netzbetreiber vor.

### Gasnetz

Im Landkreis Regensburg sind drei Netzbetreiber tätig:

- Bayernwerk AG
- Energienetze Bayern GmbH & Co. KG
- REWAG Regensburger Energie- und Wasserversorgung AG & Co KG

Für das Landkreisgebiet liegen vollständige Netzabsatzdaten aller Netzbetreiber vor. Von den 41 Gemeinden des Landkreises werden 19 mit Erdgas versorgt (Abbildung 2).

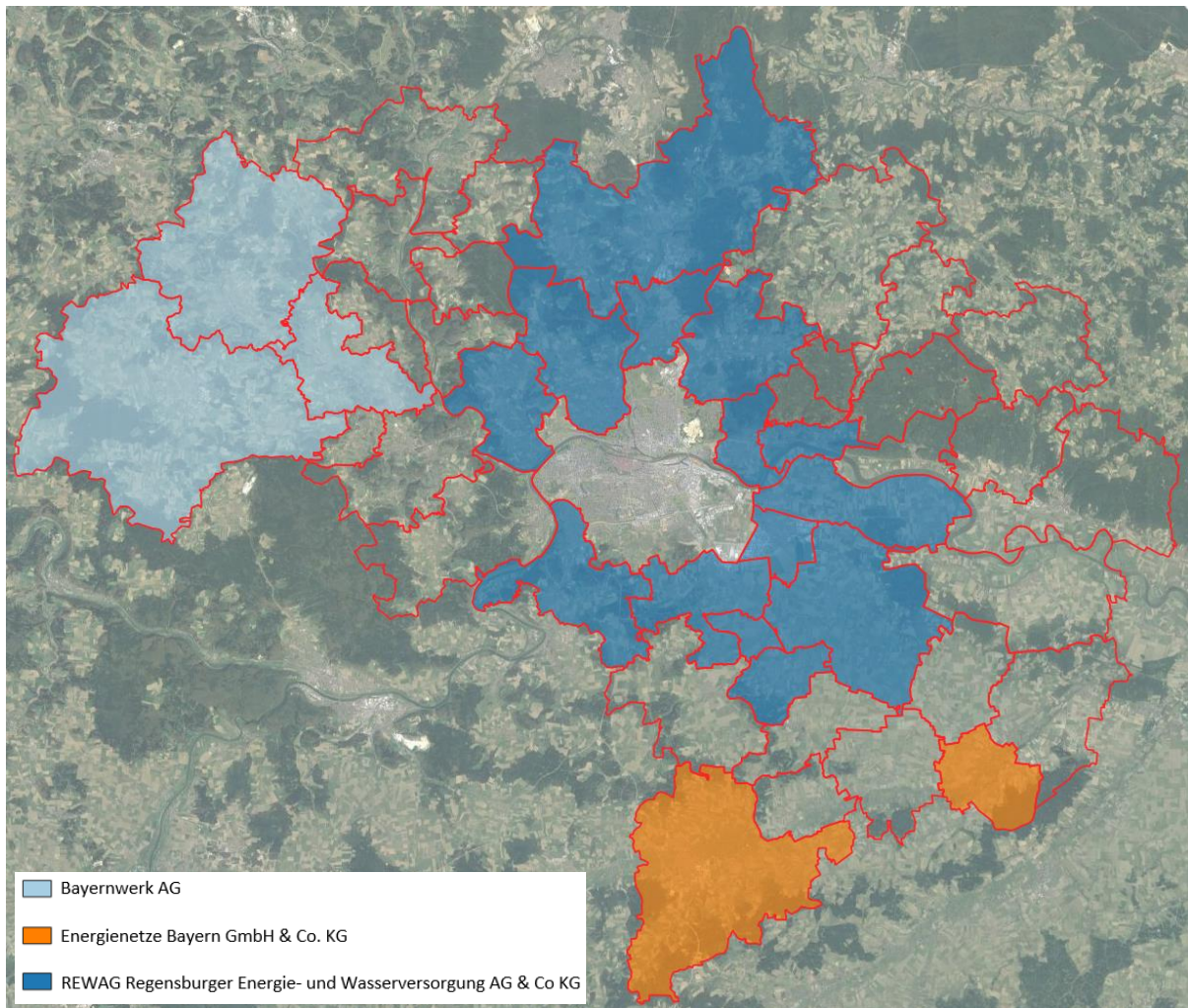


Abbildung 2: Mit Erdgas versorgte Kommunen im Landkreis Regensburg

### 3.3 Sektor Wärme

#### 3.3.1 Gebäudescharfes Wärmekataster

Das gebäudescharfe Wärmekataster ist ein Werkzeug der kommunalen Wärmeplanung. Es erfasst alle beheizten Gebäude in den einzelnen Kommunen des Landkreises und beinhaltet zu jedem Gebäude Informationen zu Nutzung, Baustruktur und Wärmebedarf. Es bietet damit eine flächendeckende Information zur Struktur und dem Wärmebedarf des Gebäudebestands.

Wärmekataster finden als Planungs- und Entscheidungsgrundlagen beim Ausbau von Wärmenetzen, bei der Entwicklung von Förder- und Sanierungsmaßnahmen, in der Energie- und Sanierungsberatung sowie im Rahmen des Klimaschutzmonitorings Anwendung.

Zur Erstellung des gebäudescharfen Wärmekatasters wurden in einem ersten Schritt wesentliche Daten zum Gebäudebestand (Informationen zur Gebäudenutzung und zur Baualterstruktur des Gebäudebestandes) erfasst und zusammen mit einem 3D-Gebäudemodell (Ermittlung von Gebäudebauteilen und Kubatur) zu einem digitalen Modell vereint. Für jedes Gebäude wurde auf dieser Grundlage dessen Wärmebedarf ermittelt. Ergänzt wurden die berechneten Werte durch konkrete Verbrauchswerte aus den Fragebögen für Gewerbe- und Industriebetriebe, Biogasanlagen, kommunale Liegenschaften und Liegenschaften des Landkreises.

Abbildung 3 zeigt einen exemplarischen Ausschnitt des gebäudescharfen Wärmekatasters. Das flächendeckende Wärmekataster liegt dem Energienutzungsplan bei und wird in das Landkreis-GIS überführt.



**Abbildung 3: Exemplarischer Auszug des gebäudescharfen Wärmekatasters**

Die Wärmedichte fasst den Wärmebedarf mehrerer Gebäude zusammen und hebt somit Siedlungsbe-  
reiche mit einem hohen Wärmebedarf hervor. Abbildung 4 zeigt exemplarisch den Wärmebedarf als  
Wärmedichtekarte.



**Abbildung 4: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen Wärme-  
katasters**

### 3.3.2 Wärmebedarf und Anteil erneuerbare Energien

Der jährliche Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung aller Verbrauchergruppen beläuft sich auf rund 2.406.500 MWh pro Jahr. In Abbildung 6 ist die Aufteilung des Wärmebedarfs in die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Den höchsten Bedarf mit einem Anteil von rund zwei Drittel weist die Verbrauchergruppen „Private Haushalte“ auf.

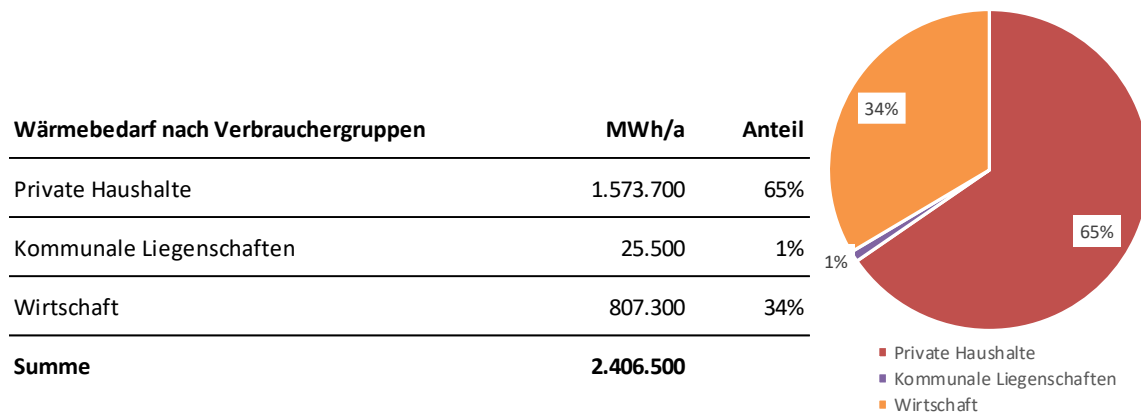


Abbildung 5: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2020

Von den insgesamt 2.406.400 MWh Wärmebedarf werden rund 23 % aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, insbesondere über Biomasse (Holz). Heizöl und Erdgas nehmen einen Anteil von insgesamt 47 % bzw. 29 % an der Wärmebereitstellung ein.

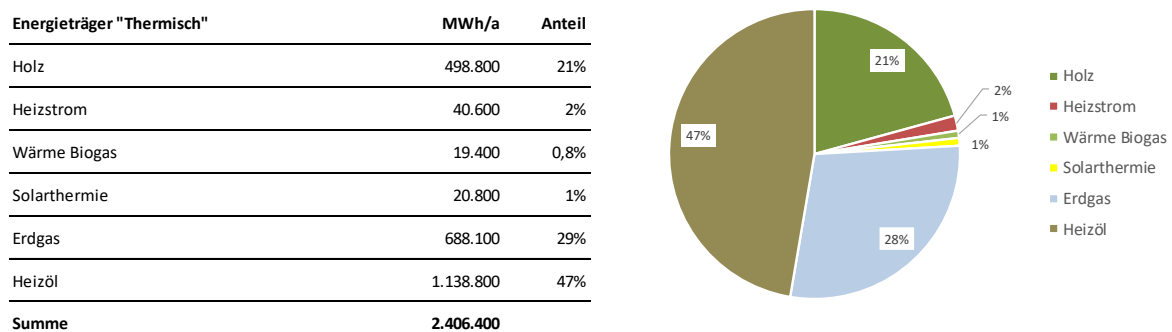


Abbildung 6: Wärmebedarf: Anteil der Energieträger im Jahr 2020



### 3.4 Sektor Strom

Der Strombezug im Landkreis Regensburg im Jahr 2020 beläuft sich in Summe auf rund 596.200 MWh. Zur Ermittlung des Strombedarfs wurden die Daten der Stromnetzbetreiber herangezogen. Die Aufteilung des Strombedarfs in die einzelnen Verbrauchergruppen zeigt, dass der Sektor Wirtschaft mit 55 % den größten Anteil einnimmt, gefolgt von den privaten Haushalten mit 42 % und den kommunalen Liegenschaften inklusive der Liegenschaften des Landkreises mit 3 % (Abbildung 8).

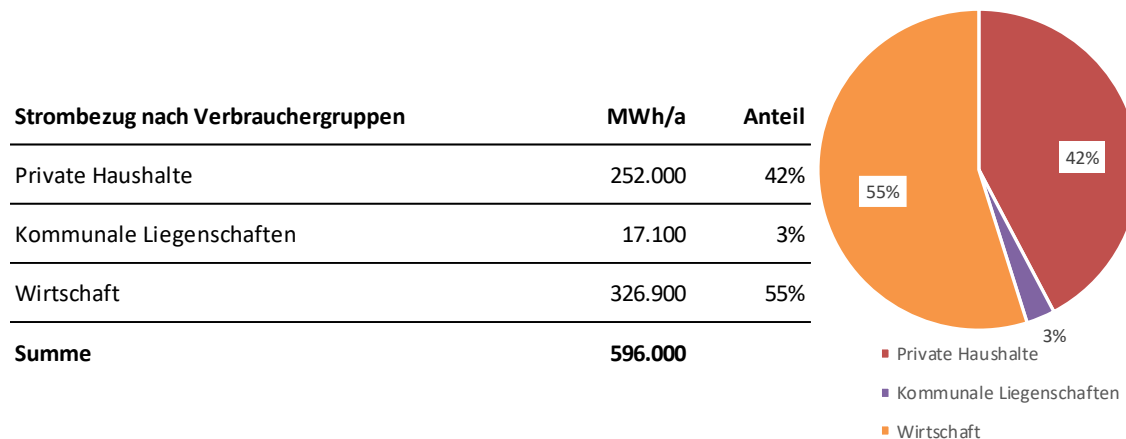
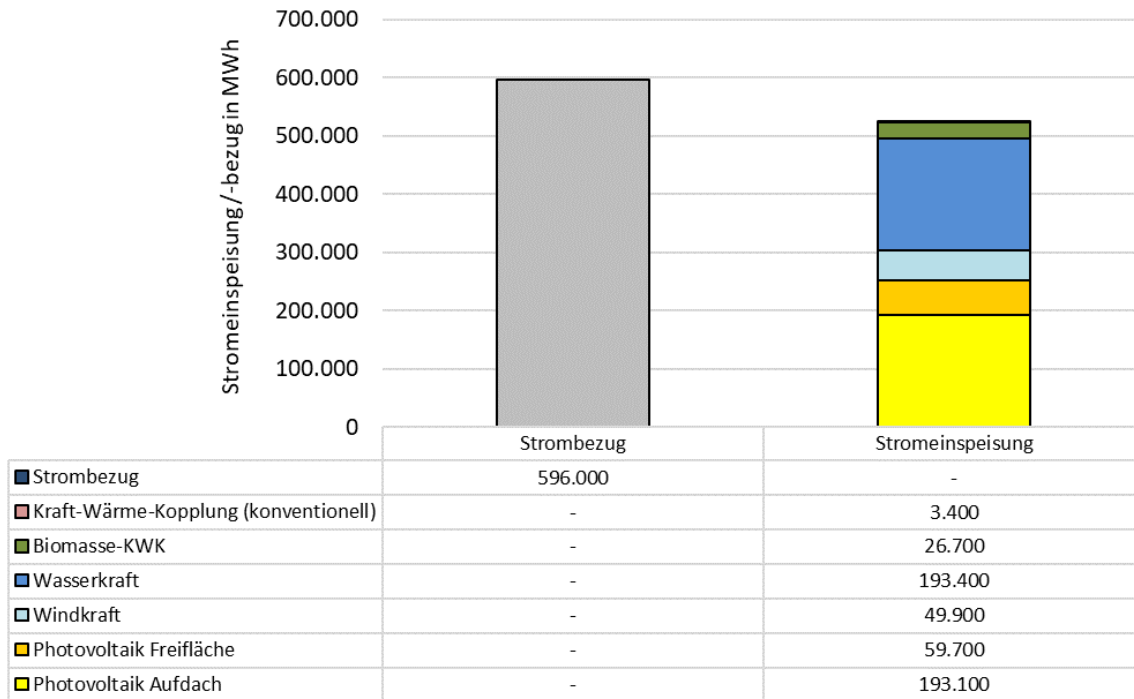


Abbildung 7: Der Strombezug im Landkreis Regensburg nach Verbrauchergruppen

Anschließend wurde der Strombezug den Erzeugungsmengen der jeweiligen Energieträger gegenübergestellt. Hierfür wurden die eingespeisten Strommengen aus Energieerzeugungsanlagen genauer analysiert. Zu beachten ist dabei, dass die Eigenstromnutzung aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen und KWK-Anlagen hierbei nicht im Anteil des jeweiligen Energieträgers enthalten ist. Stattdessen wird die tatsächlich in den Kommunen erzeugte und eingespeiste Strommenge aus erneuerbaren Energien berücksichtigt und dem Strombezug gegenübergestellt. In Summe wurden im Bilanzjahr 2020 innerhalb des Landkreises bilanziell rund 522.900 MWh aus Erneuerbaren Energiequellen und 3.400 MWh aus konventionellen KWK-Anlagen in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Dem gegenüber steht ein Strombezug im Jahr 2020 in Höhe von 596.000 MWh. Somit besteht noch eine bilanzielle Deckungslücke von 69.700 MWh bzw. 12%.

→ **Bilanzieller Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung beträgt rund 88 % (Jahr 2020)**



**Abbildung 8: Strombezug und Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien / KWK im Jahr 2020**

*Hinweise:*

- *Aufgrund der Festlegung auf das Bilanzjahr 2020 wurden die im Jahr 2021 und später neu errichteten EEG- und KWK-Anlagen nicht berücksichtigt.*
- *Die Stromeigennutzung führt in dieser Betrachtung zu einer Minderung des Strombezugs aus dem Stromnetz. Die angewandte Bilanzierungsmethodik ist entscheidend für eine kontinuierliche Fortschreibung des digitalen Energienutzungsplans und der Energiebilanz, da nur diese Daten den EVU exakt und vollumfänglich vorliegen.*

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans wurden die eingespeisten Strommengen aus Energieerzeugungsanlagen im Bilanzgebiet detailliert erfasst und analysiert. Nachfolgende Grafik zeigt eine Übersicht der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Landkreis, wobei im Bereich PV-Anlagen lediglich die Freiflächenanlagen eingezeichnet sind (um die Übersichtlichkeit zu wahren).

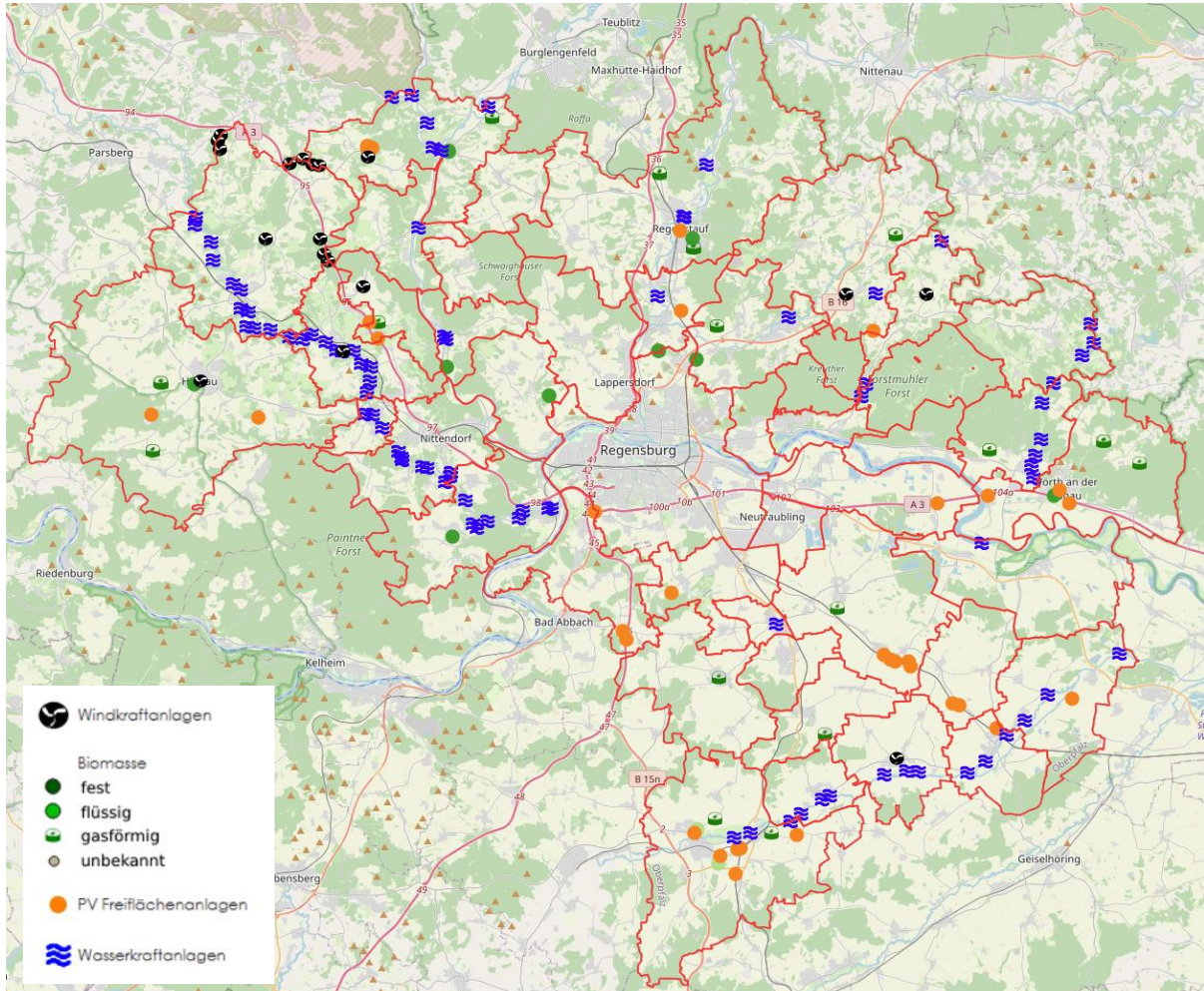


Abbildung 9: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet

### 3.5 Sektor Verkehr

Zwar ist der Sektor Verkehr bzw. Mobilität nicht Baustein eines klassischen Energienutzungsplans, jedoch im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung der Sektorenkopplung zwischen Strom, Wärme und Mobilität ist es sinnvoll diesen separat herauszuarbeiten und in die Energiebilanz des Landkreises und in zukünftige Entwicklungsszenarien mit einzubeziehen.

Als Grundlage für das Darstellen des Energiebedarfs im Sektor Mobilität wurde ein einwohnerspezifischer Kennwert gebildet, welcher sämtliche die Mobilität betreffende Zweige einschließt, wie beispielsweise den Bahn-, Flug- und Schiffsverkehr.

Dieser Kennwert wurde aus veröffentlichten Statistiken des Verkehrsministeriums für den in Deutschland insgesamt erforderlichen Endenergiebedarf von 2.704 PJ (rund 751 Terawattstunden) für Mobilitätszwecke gebildet und auf die Bevölkerung des Landkreises umgelegt. Der Anteil von Strom für Elektromobilität lag demnach und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten mit rund 0,5 % angesetzt. [BMVI]

So lässt sich ein jährlicher Pro-Kopf-Energiebedarf für Mobilität von rund 9.000 kWh pro Einwohner ermitteln, was umgelegt auf den Landkreis Regensburg einen Gesamt-Energieeinsatz von 1.748.500 MWh bedeutet.

*Hinweis: Die Berechnung des Energiebedarfs stützt sich u.a. auf allgemeine bundesdeutsche Kennwerte. Eine detaillierte Analyse des Sektors Verkehr kann nur über Detailstudien erfolgen, die nicht Bestandteil dieses Energienutzungsplans sind.*

### 3.6 CO<sub>2</sub>-Bilanz

Zunächst wurde die Treibhausgasbilanz auf Basis des ermittelten Strom- und Wärmebedarfes sowie der Anteile der jeweiligen Energieträger am Endenergiebedarf erstellt. Dabei wird für jeden Energieträger ein spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor ermittelt, das sogenannte CO<sub>2</sub>-Äquivalent, das neben den direkten Emissionen (z. B. aus der Verbrennung von Erdgas) auch die vorgelagerten Bereitstellungsketten umfasst (Gewinnung und Transport des Energieträgers). Im CO<sub>2</sub>-Äquivalent sind also alle klimawirksamen Emissionen enthalten, die für die Bereitstellung und Nutzung eines Energieträgers anfallen. Dies beinhaltet auch die Emissionen an weiteren klimawirksamen Gasen, wie z. B. Methan, die auf die Klimawirksamkeit von Kohlendioxid normiert und im CO<sub>2</sub>-Äquivalent verrechnet werden.

Die verwendeten CO<sub>2</sub>-Äquivalente wurden mit Hilfe des Lebenszyklus- und Stoffstromanalyse-Modells GEMIS in der Version 4.9 ermittelt und sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die einzelnen Energieträger ergeben sich dann aus der eingesetzten Energiemenge multipliziert mit dem jeweiligen CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Für die Erzeugung elektrischer Energie innerhalb des Betrachtungsgebiets (z. B. aus Erneuerbaren Energien) wird eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift in Höhe des CO<sub>2</sub>-Äquivalents für den deutschen Strommix auf Verteilnetzebene angesetzt. Dahinter steht die Annahme, dass diese Strommenge in gleicher Höhe Strom aus dem deutschen Kraftwerkspark verdrängt. Durch diese Betrachtungsweise können sich bilanziell negative CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben. Dies ist in diesem Fall so zu interpretieren, dass gegenüber der durchschnittlichen Stromerzeugung in Deutschland CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden.

**Tabelle 1: Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente der jeweiligen Energieträger [GEMIS 4.9; Berechnungen IFE]**

Energieträger	CO <sub>2</sub> -Äquivalent (Direkt + Vorkette)
	[g/kWh <sub>End</sub> ]
Strom	558
Erdgas	244
Heizöl EL	313
Biogas	90
Biomethan	111
Holzpellets	18
Hackschnitzel	14
Scheitholz	13

- ➔ Aus dem Gesamtendenergieverbrauch und der Stromeinspeisung erneuerbarer Energien und KWK resultiert ein Ausstoß von rund 593.500 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Dies entspricht einem jährlichen Ausstoß klimawirksamer Gase von rund 3,1 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf

In Tabelle 2 ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 593.500 t/a im Landkreis Regensburg nach eingesetztem Energieträger dargestellt.

**Tabelle 2: Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Landkreis Regensburg aufgeteilt auf die verschiedenen Energieträger**

Energieträger	CO <sub>2</sub> -Ausstoß [t/a]
Strom	332.600
Biomasse	7.500
Heizstrom	22.700
Erdgas	167.900
Heizöl	356.500
Stromeinspeisung Erneuerbare Energien	-293.700
<b>Summe</b>	<b>593.500</b>

Darauf aufbauend wurde im zweiten Schritt noch der Sektor Verkehr in die Emissionsbilanz mit aufgenommen. Die hier angesetzten CO<sub>2</sub>-Äquivalente sind aber nicht auf Basis der geschilderten GEMIS Faktoren hinterlegt, sondern stützen sich auf Werte des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg IFEU. Es wird ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 326 g/kWh angesetzt. [KEA Emission]

- ➔ Wird der Energiebedarf des Sektors Verkehr mit hinzugezogen so addieren sich zu den Emissionen aus dem Strom- und Wärmebedarf weitere rund 572.400 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Jahr. Der jährliche Ausstoß an klimawirksamen Gasen steigt so auf insgesamt 6,0 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf.

## 4 Potenzialanalyse

### 4.1 Energetische Klärschlammverwertung für den Landkreis Regensburg

#### 4.1.1 Einleitung

Klärschlamm ist der bei der Abwasserbehandlung in Kläranlagen anfallende Schlamm und beschreibt eine Mischung aus pastösen Stoffen und Feststoffen, die bei der Abwasserreinigung durch Sedimentation anfallen und einer gesonderten Behandlung unterliegen. Der Klärschlamm ist Pflanzennährstoffträger und enthält insbesondere Phosphor. Gleichzeitig wirkt er auch als Schadstoffsенке, da neben der Anreicherung der im Abwasser vorhandenen Schwermetalle ebenso eine Anreicherung organischer Schadstoffe stattfindet. Daraus ergibt sich eine Einschränkung der landwirtschaftlichen Verwertung des Klärschlammes. Durch die Änderungen der Düngemittelverordnung (2017) und der Klärschlammverordnung (2017) wurden die Grenzwerte zur Klärschlammausbringung verschärft und zudem erhöhte bürokratische Anforderungen daran geknüpft. Darin enthalten ist außerdem die Phosphorrückgewinnung, die für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße größer 100.000 EW ab 2029 und größer 50.000 EW ab 2032 verpflichten wird. Näheres wird in Kapitel 4.1.6 erläutert). Problematisch sind außerdem die rückläufigen Zahlen der nutzbaren Flächen und die damit einhergehende sinkende Zahl an Landwirten, die eine Ausbringung ermöglichen. Bayern setzt deshalb bevorzugt auf die thermische Verwertung des Klärschlammes. Diese Tendenz zeigt sich auch in Abbildung 10. Die Thermische Verwertung bildet derzeit schon den wichtigsten Verwertungsweg in Bayern.

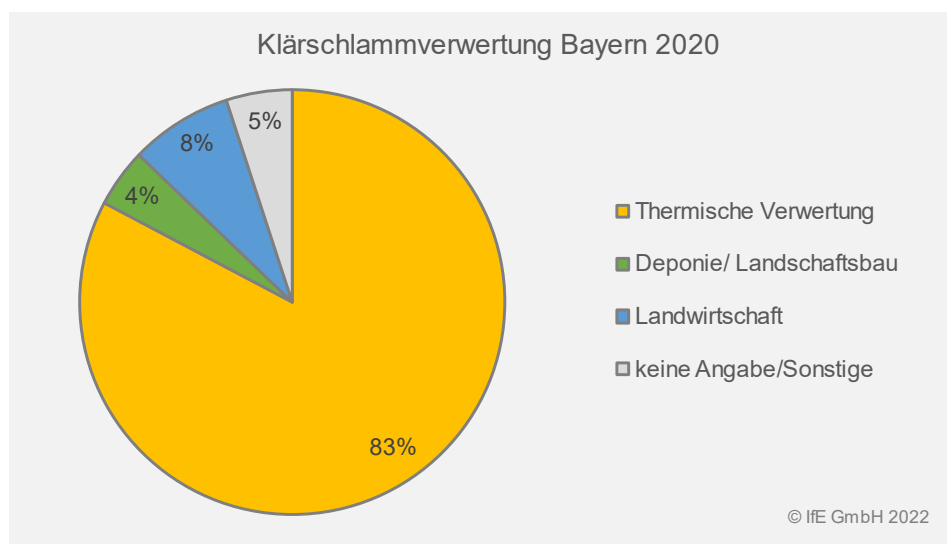


Abbildung 10: Klärschlammverwertung in Bayern 2020

Durch eine sinnvolle thermische Verwertung können aus ökologischer Sicht Schadstoffe aus dem Stoffkreislauf entnommen und damit in den verschiedenen Umweltmedien minimiert werden. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass auch die Klimaschutzziele des Landkreises Regensburg, hier insbesondere die Reduzierung der Treibhausgase, positiv beeinflusst wird.

Dieser Teil des Energienutzungsplanes soll eine Übersicht geben, wie die Entwässerung des gesamten anfallenden Klärschlammes im Landkreis Regensburg sichergestellt werden kann. Darauf aufbauend werden Möglichkeiten der Klärschlammverwertung von entwässertem und getrocknetem Klärschlamm aufgezeigt. Die Basis dieser Betrachtungen bilden die Angaben der Kläranlagen im Landkreis Regensburg, die im Vorfeld durch eine umfangreiche Datenerfassung eingeholt wurden.

#### 4.1.2 Technische Optionen der Klärschlammverwertung

Ziel der Klärschlammbehandlung ist es, die Schlammmenge zunächst zu reduzieren und anschließend einer energetischen und stofflichen Verwertung zuzuführen. Die Reduktion der Schlammmenge wird im Wesentlichen durch die Verringerung des Wassergehaltes erreicht. Abbildung 11 zeigt die Schritte der Klärschlammbehandlung, die zu einer Massenreduktion führen.

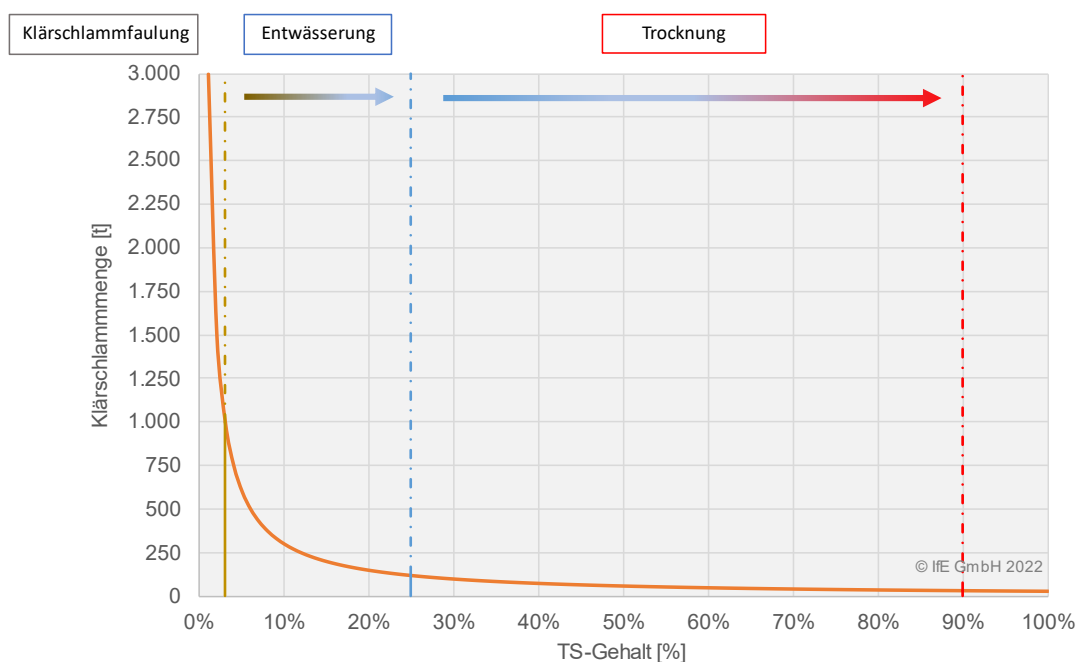


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Klärschlammmenge und TS-Gehalt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> In Anlehnung an DWA-M-366 Maschinelle Schlammentwässerung



Die Grafik veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Klärschlammmenge und dem Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) des Klärschlammes. Durch die Klärschlammfäulung wird aus den organischen Anteilen Klärgas gewonnen, welches zur Wärme- und Stromproduktion genutzt werden kann. Die anschließende Entwässerung reduziert die Rohschlammmenge von beispielsweise 1.000 t auf etwa 120 t bei 25 % - TS. Das bei der Entwässerung entzogene Filtratwasser wird der Kläranlage dosiert zugegeben. Je nach Verwertungsweg folgt darauf die Trocknung des Klärschlammes an geeigneten Standorten, wodurch ebenfalls eine Massenverringerung erzielt wird. Es ist ein Trockensubstanzgehalt von 90 % anzustreben, da dieser von den Verwertern gefordert wird. Anschließend wird der Klärschlamm der Verwertung zugeführt.

#### **4.1.2.1 Klärschlammfäulung**

Bei der Klärschlammfäulung wird durch Luftmangel im Faulturm ein brennbares Synthesegas aus Klärschlamm erzeugt. Es kann beispielsweise in einem BHKW oder einer Turbine zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Positiv beeinflussen lässt sich die Energiebilanz der Anlage durch Eigennutzung der Energie. Ebenso kann durch die Klärschlammfäulung die Schlammmenge um bis zu 30 % reduziert werden, wodurch geringere Mengen entsorgt werden müssen. Klärschlammfäulungen sind vor allem an größeren Kläranlagen zu finden. Aufgrund steigender Energiepreise und Kosten in der Klärschlammverwertung kann auch an kleineren Kläranlagen mit Ausbaugröße ab ca. 10.000 EW eine Klärschlammfäulung ökonomisch betrieben werden.

#### **4.1.2.2 Klärschlammmentwässerung**

Der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt von Rohschlamm, welcher an den Kläranlagen nach der Abwasserreinigung anfällt, liegt bei etwa 3 %. In der Regel können Feststoffgehalte von ca. 20 – 25 % - TS erreicht werden. Durch die Entwässerung reduziert sich die Masse und somit auch die Transportmenge. Dadurch können Transportkosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden.

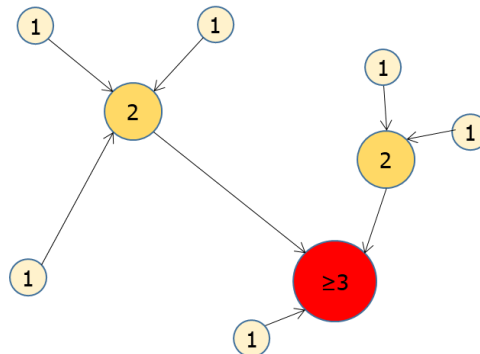
Die Entwässerung kann durch stationäre oder mobile Entwässerungssysteme erfolgen. Die Wahl der Entwässerung muss für jede Kläranlage individuell hinsichtlich verschiedener Faktoren geprüft werden. Schwerpunkte in der Entscheidungsfindung liegen in der Wirtschaftlichkeit, der technischen Umsetzbarkeit und der zukünftigen Ausrichtung des Standortes (Zusammenschluss, Neubau, etc.). Limitierender Faktor für die Umsetzung einer Entwässerung sind auch Speicherkapazitäten von Filtratwasser,

oder dass ausreichend Reinigungskapazität zur Behandlung von Filtratwasser in der Biologie vorhanden sein muss.



**Abbildung 12: Beispiele einer Schneckenpresse zur stationären Klärschlamm-Entwässerung der Hersteller IEA (links) und Huber (rechts) (Quelle: IEA Derflinger GmbH und Huber SE)**

Sind keine Kapazitäten in der Biologie oder dem Filtratwasserspeicher vorhanden, ist ein Zusammenschluss mehrerer (kleiner) Kläranlagen empfehlenswert. Klärschlamm einer kleineren Kläranlage kann an eine größere zur Entwässerung transportiert werden. Eine weitere Möglichkeit ist der Zusammenschluss mehrere Kläranlagen durch Überleitung des Abwassers. Schematisch ist das Vorgehen in Abbildung 13 dargestellt.



**Abbildung 13: Entwässerungskonzept (nach Publikation Klärschlamm-Entsorgung in Bayern)**

Voraussetzung zur Annahme von Fremdschlämmen ist die Möglichkeit zur Mischung verschiedener Klärschlämme. In beiden Fällen – Fremdschlammannahme und Überleitung des Abwassers – darf die Biologie der Kläranlagen nicht nachteilig beeinflusst werden.

#### 4.1.2.3 Klärschlamm-trocknung

Bevor der Klärschlamm einer thermischen oder stofflichen Verwertung zugeführt wird, kann dieser mittels Prozesswärme oder Solarenergie getrocknet werden. Es werden mehrere Techniken und Vorgehen angeboten, wie zum Beispiel Bandtrockner oder solarer Trockner.

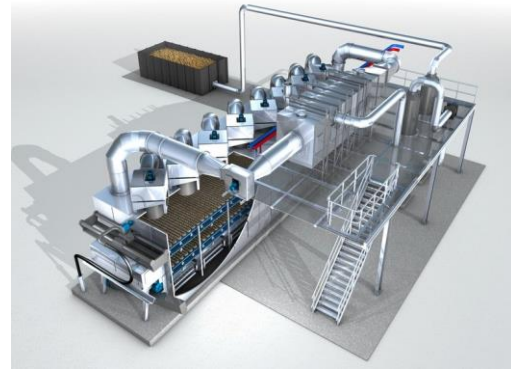


Abbildung 14: Solar- und Bandtrockner (Quelle: Thermo-System, Huber SE)

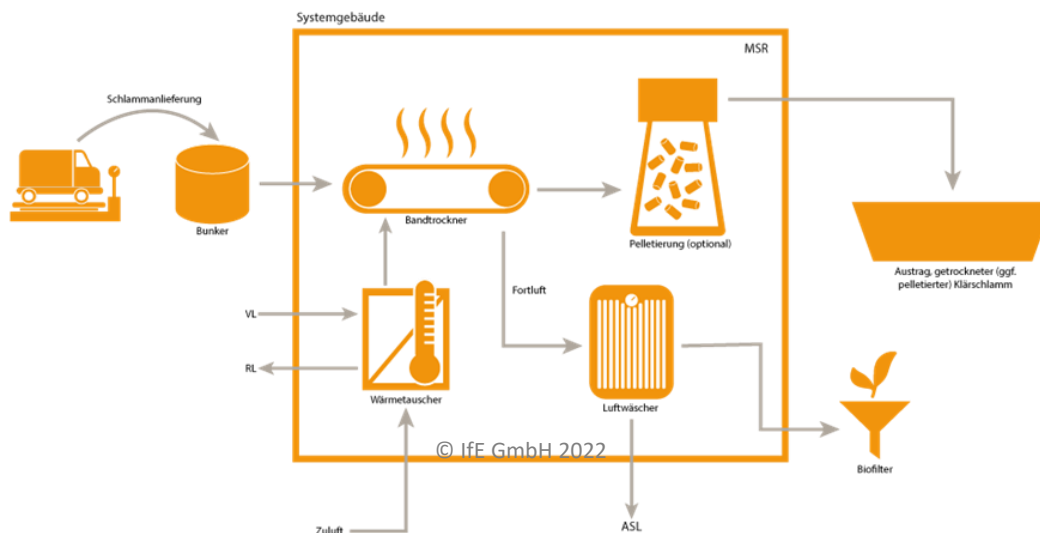
Bei der Klärschlamm-trocknung wird zuvor entwässertes Klärschlamm (25 %-TS) unter Einsatz von Wärme oder Sonneneinstrahlung auf einen Trockensubstanzgehalt von 75 bis 90 % - TS getrocknet. Der letztendlich zu erreichende TS-Gehalt ist abhängig von der jeweiligen Technik.

Die Wahl des Trocknungssystems bedarf einer Detailplanung und ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie etwa Abwärmemenge, Temperaturniveau, jährliche Verfügbarkeit, verfügbare Fläche, Personal, Kapitaleinsatz und Trockensubstanzgehalt nach der Trocknung. Die Nutzung bereits vorhandener Abwärmequellen aus Industrie, Gewerbe oder Landwirtschaft (Biogas) steht im Vordergrund. Die zusätzliche Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Trocknung soll weitestgehend vermieden werden, wodurch bislang ungenutzte Energie sinnvoll eingesetzt und zusätzlich CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden.

Der durchschnittliche Wärmebedarf zur Trocknung liegt bei 900 bis 1.200 kWh/t<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, abhängig von der Technik und Effizienz der Trocknungsanlage. Die notwendige Gesamtwärmemenge zur Trocknung kann über diesen spezifischen Wert abgeschätzt werden.

In Abbildung 15 werden die wichtigsten Verfahrensschritte einer Klärschlamm-trocknungsanlage, am Beispiel eines Bandtrockners, dargestellt. Die Abluftbehandlung erfolgt in der Regel durch einen Abluftwäscher zur Entstaubung und Elimination von Schad- und Geruchsstoffen. Dabei fällt als Produkt eine Ammoniumsulfat-Lösung (ALS) an, welche als Düngemittel genutzt werden kann. Ein Biofilter dient zusätzlich zur weiteren Reduktion von Geruchseinheiten. Dabei entsteht eine gewisse Abwassermenge, welche einer Kläranlage zugeführt werden muss. Damit die Trocknungsanlage die maximale

Effizienz erreicht, wird mittels Wärmetauscher die Restwärme aus der Abluft zurückgewonnen und der Zuluft zugeführt. Durch den Wärmeentzug wird die feuchte Abluft abgekühlt, dabei entsteht ein Kondensat (Brüdenkondensat). Aufgrund des Abwassers und des Brüdenkondensats muss die aktuelle Auslastung der nachgeschalteten Kläranlage bei der Evaluierung berücksichtigt werden. Insbesondere sind es hohe Konzentrationen an Ammoniumnitrat, welche eine erhebliche Belastung für die Biologie der Kläranlage darstellen können.



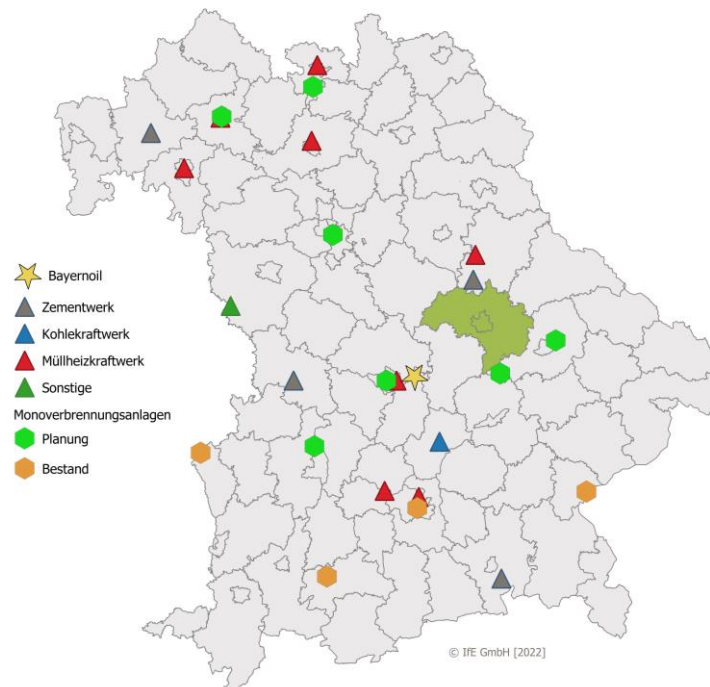
**Abbildung 15: Schema einer Trocknungsanlage**

Grundsätzlich ist bei der Planung einer Klärschlamm-trocknungsanlage zu prüfen, ob Verwertungs-kapazitäten für getrockneten Klärschlamm vorhanden sind.

#### 4.1.2.4 Klärschlamm(-mono)verbrennung

Die thermische Verwertung des Klärschlammes kann entweder über die Mitverbrennung oder die Monoverbrennung erfolgen. Unter Monoverbrennung ist die alleinige thermische Verwertung eines bestimmten Produkts, im vorliegenden Fall Klärschlamm, zu verstehen. Beispiel für die Mitverbrennung ist der Brennstoffersatz in Kohlekraftwerken, Müllheizkraftwerken oder Zementwerken. Die Kapazitäten zur Verwertung von Klärschlamm sind begrenzt und können nach aktuellem Kenntnisstand nicht zur vollständigen Verwertung des anfallenden Klärschlammes beitragen. Vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus der Kohleverstromung bis spätestens 2038 werden die Klärschlamm-mengen, welche der Mitverbrennung zugeführt werden, voraussichtlich weiter sinken. Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung ab 2029 verwehrt den Kommunen zudem größtenteils die Verwertung des Klärschlammes in der

Mitverbrennung. Außerdem muss am Standort der Mitverbrennung die Anlagentechnik auf die Klärschlammverwertung ausgelegt sein, da die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten werden müssen. Je nach Industriezweig kann nur eine begrenzte Menge Klärschlamm mitverbrannt werden, damit die Produkthanforderungen und die Qualität nicht beeinträchtigt werden. Entsprechend müssen weitere Kapazitäten zur Klärschlammverwertung in Form der Klärschlammmonoverbrennung geschaffen werden. Abbildung 16 gibt eine Übersicht, über derzeit bereits vorhandene Klärschlammverwertungsanlagen und derzeit geplanten Monoverbrennungsanlagen.



**Abbildung 16: Übersicht über vorhandene und geplante thermische und stoffliche Verwertungsmöglichkeiten in Bayern**

Mit den aktuell geplanten Monoverbrennungen und den Anlagen im Bestand könnte der gesamte Klärschlamm des Freistaates Bayern regional verwertet werden. Jedoch ist abzuwarten, ob alle Anlagen wie geplant umgesetzt werden können. Mögliche Abbruchkriterien für in Planung befindliche Monoverbrennungsanlagen sind beispielsweise Widerstand aus der Bevölkerung, genehmigungspflichtige Aspekte oder fehlende Standorte. Zusätzlich werden die steigenden Baukosten und der Zubau von neuen Verfahren zur stofflichen Klärschlammverwertung Einfluss auf die aktuell geplanten Projekte haben.

Ab einem Trockensubstanzgehalt von ca. 55 bis 60 % verbrennt der Klärschlamm selbstständig, ohne Zusatzbrennstoff. Monoverbrennungsanlagen werden in der Regel so ausgelegt, dass sowohl Klärschlamm mit ca. 90 % Trockensubstanz als auch Klärschlamm mit ca. 25 % Trockensubstanz angenommen werden kann. Die bei der Verbrennung entstehende Wärme kann dazu genutzt werden, Klärschlamm mit 25 % Trockensubstanz vor der Verbrennung auf ca. 45 – 50 % - TS-Gehalt zu trocknen.

Zudem gibt es Anlagenkonzepte, welche nur mit der Verwertung von zuvor getrocknetem Klärschlamm (90 % - TS) planen. Bei diesem Konzept liegt der Vorteil in einer höheren Wärmeausbeute am Standort der Monoverbrennung. Dadurch können mittels Kraft-Wärme-Kopplung Strom erzeugt, oder ein Wärmenetz versorgt werden.

Klärschlammmonoverbrennungen können durch verschiedene Verfahren umgesetzt werden. Dabei ist die stationäre Wirbelschicht die gängigste Variante, deren Anlagengrößen im großtechnischen Bereich eingesetzt werden. Verschiedene Unternehmen haben Anlagen mit einem Klärschlammumsatz von 100.000 t<sub>TM</sub>/a umgesetzt, weshalb Wirbelschichtanlagen als Stand der Technik bezeichnet werden können. Darüber hinaus werden weitere Technologien, wie z.B. Drehrohrreaktoren, Rostfeuerungen und Staubfeuerungen eingesetzt. Dezentralere Anlagen im kleineren Maßstab werden vereinzelt umgesetzt und erprobt.

#### **4.1.2.5 Alternative Verwertungsmöglichkeiten**

Die stoffliche Verwertung des Klärschlammes kann ergänzend oder ersatzweise zur thermischen Verwertung von Vorteil sein. Dabei handelt es sich meist um Verfahren, welche sich derzeit noch im Stadium der Forschung und Entwicklung befinden. Nachfolgend werden die verschiedenen Prozesse vorgestellt, die Anlagenhersteller für die stoffliche Verwertung von Klärschlamm nutzen.

##### **Pyrolyse**

Die Pyrolyse ist ein thermischer Prozess, bei dem Klärschlamm unter Ausschluss von Sauerstoff in einer endothermen Reaktion zersetzt wird. Es entstehen als Produkte Pyrolysegas und Pyrolysekoks. Dabei ist die Zusammensetzung des Pyrolysegases von der Klärschlammzusammensetzung abhängig.

Das Pyrolysegas kann in einer nachgeschalteten Verbrennungskammer energetisch genutzt werden. Alternativ ist auch die Verwertung in einem KWK-System wie BHKW oder Turbine zur Strom- und Wärmeproduktion aus Klärschlamm sinnvoll. Ebenso vorteilhaft ist der geringe Platzbedarf. Im Gegensatz zur stationären Wirbelschichtverbrennungsanlage, könnte sich eine Klärschlamm-pyrolyseanlage auch

für kleinere Kläranlagen mit geringeren Durchsätzen eignen, auch da die benötigte Fläche geringer ausfällt.

Der geringe Heizwert des Pyrolysegases, verglichen zu Erdgas oder Biogas, ist als Nachteil der Pyrolyse zu sehen, genauso dessen hohe Schadstoffbelastung. Damit das Pyrolysegas mittels Kraft-Wärme-Kopplung energetisch verwertet werden kann, ist eine aufwändige Gasaufbereitung notwendig, um Schadstoffe, wie Stickstoff- und Schwefelverbindungen oder langkettige Kohlenwasserstoffe zu entfernen. Des Weiteren darf die im Prozess entstehende Pyrolysekohle nicht als Düngemittel eingesetzt werden. Das Verwaltungsgericht in Koblenz hat dies laut Urteil vom November 2021 verboten, außerdem ist die Pyrolysekohle aus Klärschlamm nicht in der neuen EU-Düngemittelverordnung 2022 aufgeführt.

### **Vergasung**

Die Vergasung ist ein thermochemischer Umwandlungsprozess, der unter Sauerstoffmangel stattfindet. Dabei werden unter Zugabe von Vergasungsmitteln (i. d. R. Luft) die festen kohlenstoffhaltigen Verbindungen umgesetzt. Diese Teilverbrennung des Klärschlammes setzt die zur Reaktion erforderliche Temperatur frei. Die Vergasung kann ebenso autotherm ablaufen, sofern der Klärschlamm einen ausreichend hohen Heizwert besitzt. Dabei verläuft die chemische Reaktion ohne externe Wärmezufuhr ab, da die exotherme und endotherme Reaktion zeitgleich stattfinden.

Nachteil der Vergasung ist die aufwändige Gasreinigung, die notwendig ist, bevor das entstandene Gas in einem BHKW zum Einsatz kommen kann. Zudem kann nicht gewährleistet werden, dass alle Schadstoffe vollständig zerstört werden, da die Oxidation im Prozess nicht vollständig erfolgt.

Die zurückbleibende Asche kann zur Phosphorrückgewinnung genutzt werden.

### **Hydrothermale Carbonisierung (HTC) [Kopp]**

Beim Prozess der hydrothermalen Carbonisierung wird innerhalb von 2 bis 16 Stunden Biokohle aus Roh- oder Faulschlamm hergestellt. Die Konversion von Klärschlamm und Wasser findet unter Luftabschluss bei einem Druck von 10 bis 40 bar statt. Die Temperaturen der Umwandlungsreaktion liegen zwischen 180 und 240 °C. Bei Bedarf wird zur Stabilisierung des Prozesses Säure hinzugefügt. Das Produkt nach der Reaktion weist einen höheren Heizwert und Kohlenstoffgehalt verglichen zum Aufgabematerial auf. Als Nebenprodukte fallen Abgase, die aufwendig gereinigt werden müssen, und Abwasser an. Dieses weist einen hohen Stickstoffgehalt und hohe Konzentrationen an organischen Bestandteilen

auf. Die organischen Anteile sollten anaerob behandelt werden, um die darin enthaltene Energie zurückzugewinnen.

Die hydrothermale Carbonisierung ist nicht als vollständiges Klärschlammbehandlungsverfahren einzustufen. Es ist vielmehr als Ersatz für die vorgeschaltete Trocknung vor der Verbrennung zu sehen. Die bei der hydrothermalen Carbonisierung entstandene Biokohle ist derzeit noch nicht als Dünger zugelassen und kann beispielsweise in der Mitverbrennung in Kohle- und Zementwerken verwertet werden.

Vorteil des HTC-Verfahrens gegenüber der thermischen Trocknung ist der Energiebedarf. Laut Herstellerangaben wird nur ein Drittel der Energie verglichen zur Trocknung benötigt. Zudem kann Phosphor rückgewonnen werden, sodass weniger als 2 % Phosphor zurückbleibt. Nachteilig an diesem Verfahren ist der hohe Nachbehandlungsaufwand der Reststoffe in Form von Abgasen und Abwasser.

### OxFA-Prozess

Bei diesem Verfahren handelt es sich um einen katalytischen Prozess zur selektiven Erzeugung von Ameisensäure und Kohlendioxid aus Biomasse.

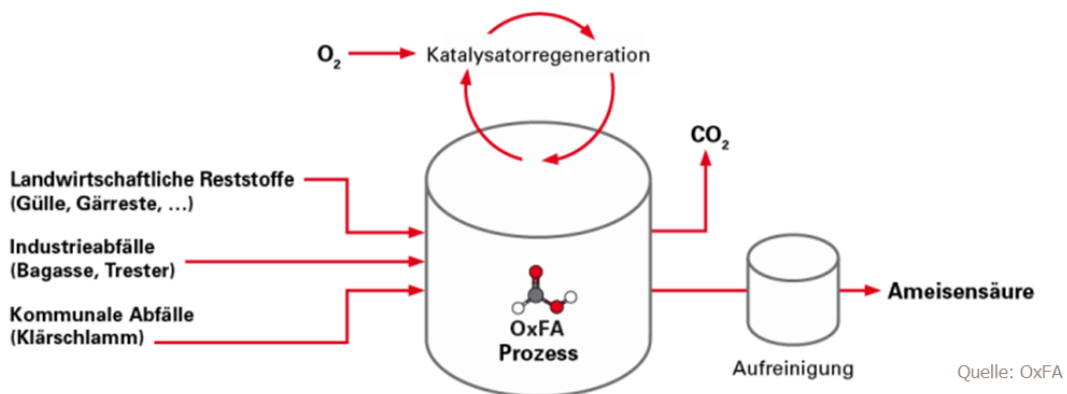


Abbildung 17: Der OxFA-Prozess

Als Input könnte neben Klärschlamm auch andere Biomasse eingesetzt werden wie beispielsweise Gülle, Industrieabfälle oder ähnlichem. Als Produkte des Prozesses entstehen Kohlendioxid, Wasser, Cellulose und als Hauptprodukt Ameisensäure.



Ameisensäure hat ein breites Einsatzspektrum als

- Neutralisierungsmittel
- Säuberungsmittel
- Biozid
- Energiespeicher
- Enteisungsmittel (vor allem zur Enteisung an Flughäfen)

#### 4.1.3 Aufbau einer fundierten Datengrundlage

Im Rahmen einer umfassenden Datenerhebung wurden alle kommunalen Kläranlagen hinsichtlich relevanter Parameter erfasst. Von zwei Kommunen liegen keine Daten zur Auswertung vor. Neben der Ist-Situation sollen auch die zukünftige Planung, sowie mögliche Zusammenschlüsse mitberücksichtigt werden. Aus den erhobenen Daten kann mittels eines Geoinformationssystems (GIS) eine übersichtliche Darstellung verschiedener relevanter Daten erstellt werden, wie in Abbildung 18 bis Abbildung 22 veranschaulicht wird.

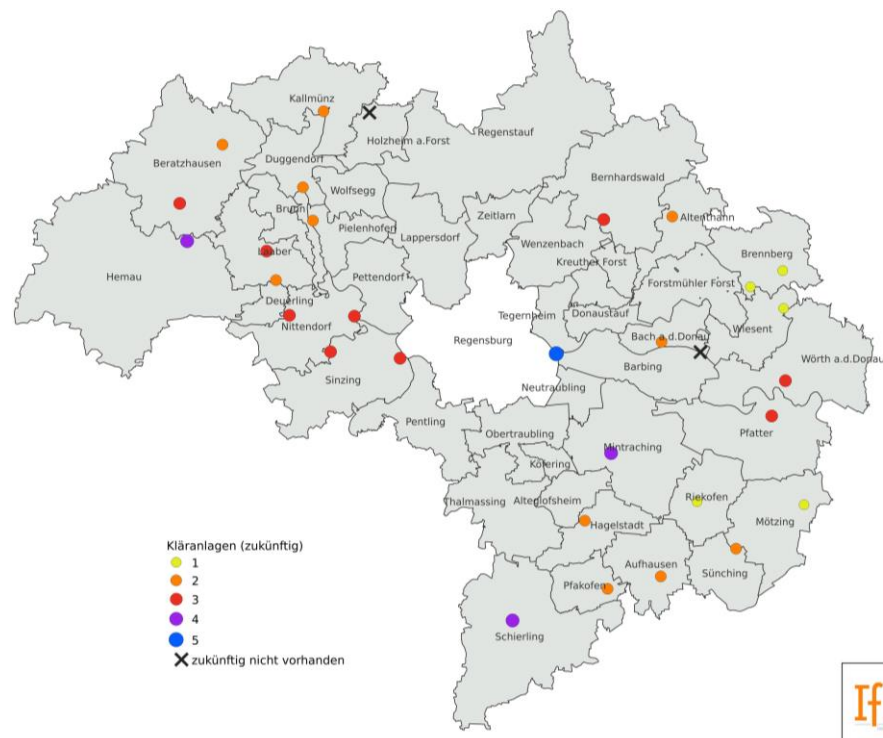


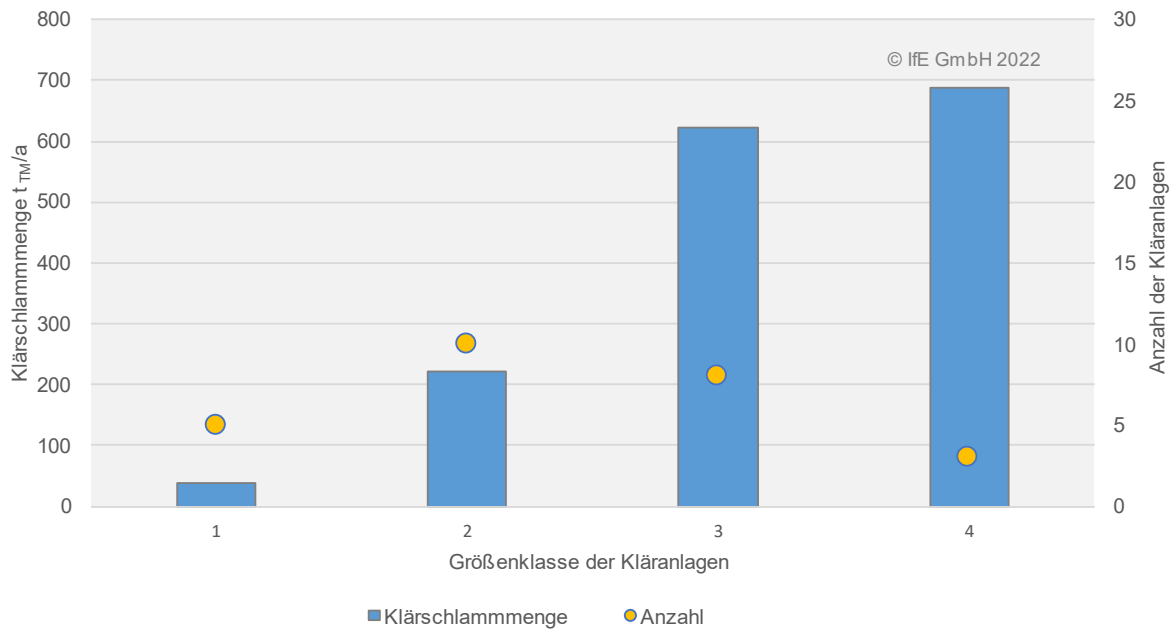
Abbildung 18: Kläranlagenstruktur im Landkreis Regensburg

Die Darstellung zeigt den Landkreis Regensburg mit den einzelnen Kommunen. Die Stadt Regensburg ist weiß dargestellt, da sie nicht Bestandteil dieses ENPs ist. Aktuell werden im Landkreis 30 Kläranlagen der Größenklassen I bis IV betrieben. Dabei finden derzeit bereits einige Umstrukturierungen statt. So wurden die Ortsteilkläranlagen Hemau Hohenschambach und Pielenhofen Diestelhausen-Camping an die Hauptkläranlage der jeweiligen Kommune angeschlossen. Die Gemeinde Wolfsegg leitet das Abwasser in das Kanalnetz des AZV Regental ein, welches an die Kläranlage Regensburg angebunden ist. In Planung ist der Anschluss der Kläranlagen Holzheim am Forst und Barbing OT Auburg an die Kläranlage Regensburg.

Neben den Klärschlammengen wurden auch Informationen zur aktuellen und geplanten Klärschlammbehandlung an den kommunalen Kläranlagen erfasst. Hierzu zählen Anlagentyp, Art der Entwässerung, Art der Trocknung und die weitere Verwertung oder Entsorgung. Kleinere Anlagen der Größenklassen I und II sind häufig Teichkläranlagen. Im Landkreis Regensburg werden nur noch zwei Teichkläranlagen betrieben. Hier wird der Klärschlamm nicht kontinuierlich abgeführt, sondern im mehrjährigen Turnus ausgebaggert, was in der Datenerfassung ebenfalls abgefragt wurde.

Damit die zukünftig anfallenden Klärschlammengen zielführend abgeschätzt werden können, wird ein Zeitraum von drei Jahren, hier 2018 bis 2020, betrachtet. Sind in diesem Zeitraum keine aussagekräftigen Mengenangaben erfasst worden, wird die zu erwartende Klärschlammmenge nach Literaturwerten bestimmt. Somit ergibt sich für den Landkreis Regensburg eine gesamte durchschnittliche Klärschlammmenge von rund  $1.600 \text{ t}_{\text{TM}}/\text{a}$ . Bezogen auf die jeweils maximal angefallenen Klärschlammengen je Kläranlage ergibt sich eine jährliche Klärschlammmenge von ca.  $1.950 \text{ t}_{\text{TM}}$ .

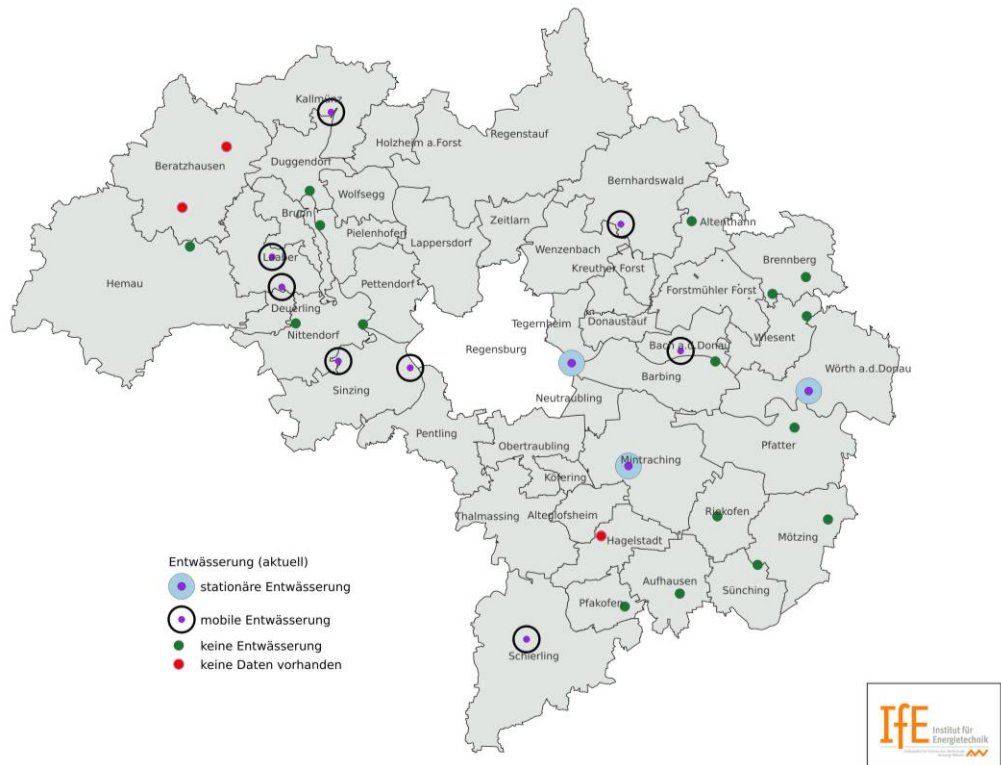
Abbildung 19 zeigt eine Übersicht der jährlich anfallenden Klärschlammengen nach Größenklassen. Zudem ist die Anzahl der Kläranlagen der jeweiligen Größenklasse dargestellt.



**Abbildung 19: Klärschlammfall nach Größenklassen**

Die Grafik veranschaulicht, dass Kläranlagen der Größenklassen I und II einen geringeren Anteil an der anfallenden Klärschlammmenge haben. Etwa 85 % des Klärschlammes fällt an Kläranlagen der Größenklasse III und IV an.

Abbildung 20 zeigt die aktuellen Entwässerungsstrukturen in den Kommunen. Kläranlagen, an denen derzeit stationär entwässert wird, sind blau umrandet. Die mobile Entwässerung über einen Dienstleister ist schwarz umrandet dargestellt.



**Abbildung 20: Aktuelle Entwässerungsstrukturen in den Kommunen**

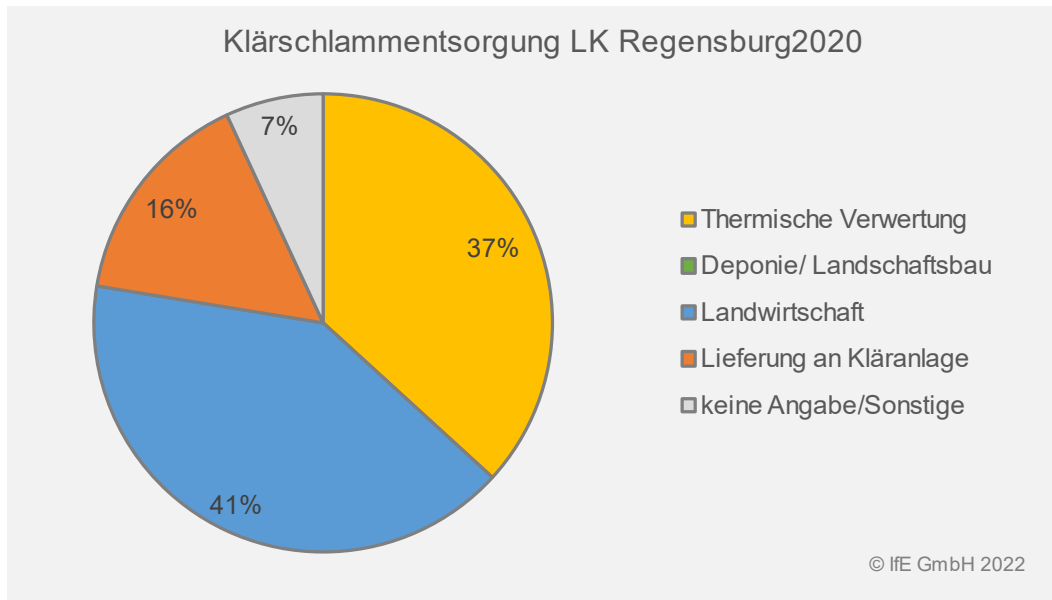
Die Übersicht zeigt, dass an den größeren Kläranlagen des Landkreises teilweise eine Klärschlamm-entwässerung stattfindet. Überwiegend handelt es sich dabei um mobile Entwässerungen. Nur auf den Kläranlagen des ZV Pfattertal und des ZV Wörth a. d. Donau wird stationär entwässert. Zum Stand der Datenerfassung liegen insgesamt etwa 65 % des kommunalen Klärschlammes in entwässertem Form vor.

Auf die Entwässerung kann je nach Verwertungsweg die Klärschlamm-trocknung folgen. Die Kläranlage des ZV Pfattertal betreibt aktuell eine Klärschlamm-trocknung in Form eines Band-trockners. Hier werden zudem Klärschlämme der Gemeinden Riekofen, Sünching, Wiesent sowie der Brauerei Kuchlbauer getrocknet. Laut Datenerfassung bestehen noch Kapazitäten für ca. 750 Tonnen entwässerten Klärschlamm.

Für den Fall, dass auch die übrigen Klärschlamm-mengen des Landkreises getrocknet werden sollen, ist eine Wärmemenge von mindestens 3,1 Mio. kWh/a notwendige. Diese sollte möglichst gleichmäßig über das Jahr zur Verfügung stehen, dies entspricht einer Heizleistung von ca. 380 kW bei einem Temperaturniveau von mindestens 60 °C. Zur Trocknung des Klärschlammes sollte ungenutzte Abwärme

eingesetzt werden. Der Fokus liegt dabei auf bestehenden Biogasbetrieben, Industrie- oder Gewerbebetrieben mit kontinuierlicher Abwärme.

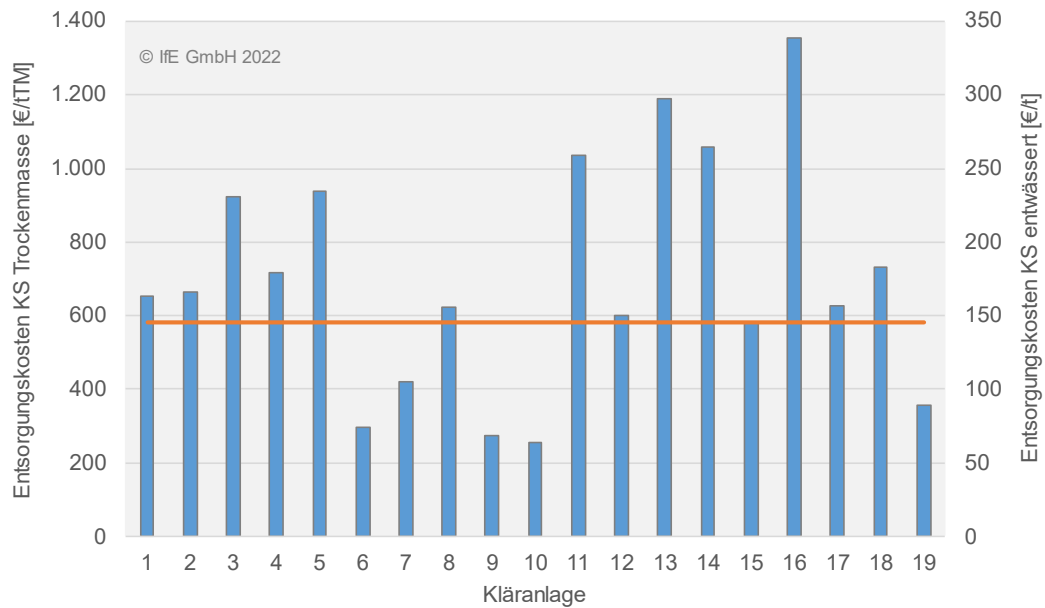
Mit Hilfe der Datenerfassung kann auch ein Überblick zur aktuellen Art Klärschlamm Entsorgung erstellt werden.



**Abbildung 21: Klärschlammverwertung im Landkreis Regensburg 2020**

Aus der Grafik geht hervor, dass jeweils knapp 40 % des Klärschlammes im Landkreis Regensburg in der Landwirtschaft und der Thermischen Verwertung entsorgt werden. Die Lieferung an eine größere Kläranlage zur Entwässerung und anschließenden Entsorgung findet für 16 % des Klärschlammes statt. Keine Angabe oder eine sonstige Verwertung wurde in der Datenerfassung für 7 % des Klärschlammes angegeben. Vergleicht man die prozentualen Anteile der Verwertungswege im Landkreis Regensburg mit den Anteilen in Bayern (vgl. Abbildung 10) ist ersichtlich, dass in Bayern der größte Anteil nicht in der Landwirtschaft liegt, sondern in der thermischen Verwertung. Die weiteren Verwertungswege, wie beispielsweise die Landwirtschaft, spielen für gesamt Bayern eine untergeordnete Rolle bei der Klärschlammverwertung.

Ausgewertet wurden auch die derzeitigen Klärschlamm Entsorgungskosten der einzelnen Kläranlagen inklusive Entwässerung (sofern vorhanden) und Transport. Insgesamt liegen hierzu Daten von 19 Kläranlagen vor. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 22 grafisch dargestellt.



**Abbildung 22: Klärschlammverwertungskosten im Landkreis Regensburg**

Aus dem Diagramm geht hervor, dass die durchschnittlichen Verwertungskosten für Klärschlamm im Betrachtungszeitraum 2018 – 2020 nach der Datenerfassung bei knapp 600 €/t Trockenmasse liegen. Die teils unterschiedlichen Entsorgungskosten können unterschiedliche Gründe haben. Es ist davon auszugehen, dass bei der landwirtschaftlichen Verwertung und im Falle von Langzeitverträgen günstigere Verwertungskosten vorliegen. Im Landkreis Regensburg zeigt der Vergleich der Kläranlagen, dass kleinere Anlagen teilweise einen höheren Klärschlamm Entsorgungspreis zu verzeichnen haben als größere Anlagen. Faktoren wie beispielsweise Störstoffe im Klärschlamm oder der Ausfaluungsgrad können einen Einfluss auf den Entsorgungspreis haben. Des Weiteren führen der Mindermengenzuschlag bei der Entwässerung und der z. T. niedrige TS-Gehalt des Klärschlammes auf kleinen Kläranlagen zu höheren Kosten.

#### 4.1.4 Stand und Potential der Klärschlammfäulung

Das Ausfäulen des Klärschlammes in einem Faulurm erzeugt Klärgas, welches durch hocheffiziente Nutzung in Form der Kraft-Wärme-Kopplung Strom und Wärme bereitstellt. Die gesamte Klärschlammmenge des Landkreises Regensburg könnte durch Ausfäulung theoretisch 812.000 m<sup>3</sup> Klärgas erzeugen.

gen. Damit ließen sich gut 1,8 Mio. kWh Strom, sowie zusätzlich knapp 3,2 Mio. kWh Wärme zur Verfügung stellen. Die Berechnung basiert auf einem spezifischen Klärgasanfall von 25 Liter pro Einwohnerwert (BSB) und Tag.

Würde der erzeugte Strom über das Netz bezogen, kann ein Emissionsfaktor von 558 gCO<sub>2</sub>e/kWh [GEMIS] herangezogen werden. Da die Wärme aus einem Klärgas-BHKW als regenerative Energiequelle ohne Emissionen zu sehen ist, kann ein Vergleich zur Wärmebereitstellung mittels Erdgaskessel mit Brennwertnutzung gezogen werden. So würde durch die Wärmeerzeugung aus Erdgas etwa 244 g/kWh an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten an die Atmosphäre abgegeben werden [GEMIS]. Daraus ergibt sich eine theoretische Treibhausgaseinsparung von knapp 1.600 tCO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Jahr.

Aktuell wird auf keiner Kläranlage im Landkreis eine Klärschlammfäulung betrieben. Abbildung 23 zeigt potenzielle Standorte für eine Klärschlammfäulung.



**Abbildung 23: Stand der Klärschlammfäulung**

Aufgrund der Ausbaugröße käme auf folgenden Kläranlagen eine Faulung theoretisch infrage und sollte geprüft werden:

- ZV Pfattertal
- ZV Wörth a. d. Donau
- Hemau
- Schierling
- ZV Nittendorf

Würde an diesen fünf Kläranlagen der Klärschlamm ausgefault, so könnten insgesamt durch Kraft-Wärme-Kopplung etwa 1,25 Mio. kWh Strom und 2,14 Mio. kWh Wärme erzeugt werden. Dadurch würden theoretisch gut 1.100 tCO<sub>2</sub>e pro Jahr eingespart werden. Grundlage der Berechnung bilden die oben in diesem Kapitel aufgeführten Literaturwerte.

#### **4.1.5 Definition einer Entwässerungsstruktur**

Die Strukturierung der Klärschlamm-entwässerung verfolgt unterschiedliche Ziele. Einerseits ist eine interkommunale Entwässerung des gesamten Klärschlammes sicherzustellen. Hierdurch werden Transportmengen und -wege weitestgehend reduziert. Des Weiteren ist die Entwässerung notwendig für die anschließende Verwertung. In der Monoverbrennung wird Klärschlamm als Brennstoff, in der Mitverbrennung als Ersatzbrennstoff eingesetzt, wofür dieser mindestens entwässert oder teilweise gar getrocknet vorliegen muss. Zu beachten gibt es die Reinigungsleistung der Kläranlage. Diese darf bei der Nachrüstung einer Entwässerung nicht negativ beeinflusst werden.

In Kapitel 4.1.3 wurden die Standorte aufgezeigt, welche bereits stationär oder mobil Klärschlamm entwässern. Daraus geht hervor, dass bereits 65 % des Schlammes zum Status Quo mit etwa 25 % vorliegt. Damit 100 % des Klärschlammes in entwässerter Form vorliegt, wird in diesem Kapitel aufgezeigt, wie alle Kommunen die Klärschlamm-entwässerung sicherstellen können. Die Entwässerung bildet die Grundlage für alle weiteren Verwertungswege.

Teilweise kann an einigen Kläranlagen nicht entwässert werden. Gründe hierfür können das Fehlen eines Rechens oder ein ausreichender Stromanschluss sein. Die zusätzliche Belastung, welche die Rückführung des Filtratwassers in die Kläranlage mit sich bringt, stellt ein Problem dar. Kläranlagen, allen voran Teichkläranlagen, der Größenklasse I und II, können das Filtratwasser nicht behandeln. Durch die stetig steigenden Anforderungen an die Reinigungsleistung von Kläranlagen ist es häufig sinnvoll



kleinere Kläranlagen aufzulassen und über Kanalleitungen an eine größere Kläranlage anzuschließen. Bleiben diese Kläranlagen bestehen, ist es möglich, den Rohschlamm an eine Kläranlage zur Entwässerung zu liefern. Die mobile Entwässerung stellt ebenso eine Möglichkeit dar. Dabei könnte lediglich das anfallende Filtratwasser zu einer größeren Kläranlage zur Behandlung transportiert werden. Welches Vorgehen im Einzelfall bevorzugt werden sollte, ist von mehreren Faktoren abhängig.

Hierzu zählen beispielsweise die Topografie der Umgebung (in Bezug auf einen Kanalanschluss), die Situation der größeren Kläranlage, auf der ggf. entwässert werden soll (Belastungskapazitäten, Art der Entwässerung, Lagerkapazitäten, etc.), die Menge und Beschaffenheit des anfallenden Klärschlammes, sowie die damit verbundene Entwässerbarkeit.

Auf Basis der Datenerfassung wurde eine Übersicht (Abbildung 24) erstellt, wie die zukünftige Entwässerungsstruktur aussehen könnte. Dabei ist durch die grünen Punkte in Abbildung 24 ersichtlich, dass auf einigen Kläranlagen eine Entwässerung nicht möglich ist. Die ausgefüllten Kreise stehen für eine stationäre Entwässerung und die blanken Kreise stellen die mobile Entwässerung dar.



**Abbildung 24: Künftige Standorte mit potenzieller Entwässerung im Landkreis Regensburg**

Die Umsetzbarkeit der Entwässerung wurde durch Berechnungen der Filtratwasserrückbelastung bewertet. Diese basiert auf Literaturwerten und muss für konkrete Entscheidungen zur Umsetzung im

Einzelfall verifiziert werden. Durch Probepressungen mit verschiedenen Entwässerungsaggregaten lassen sich die Daten konkretisieren. Die aufgezeigten Entwässerungsanlagen sind nicht als final zu betrachten, da es für einige Kläranlagen mehrere Wege gibt. In welcher Form die Entwässerung auf den Kläranlagen zukünftig durchgeführt werden sollte bedarf einer Detailprüfung der Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit.

Aktuell gibt es keine Planungen in den Kommunen, die Klärschlamm entwässerung zukünftig anders durchzuführen als die derzeitige Methode. Von zwei Kommunen liegen keine Daten zur Auswertung vor. Es wird empfohlen, an folgenden Kläranlagen die Installation einer stationären Entwässerungsanlage zu prüfen:

- Schierling
- Hemau
- ZV Labertal
- Pfatter
- Sinzing
- Bernhardswald (evtl. auch mobil mit Aufhausen)

Weiterhin sollte an diesen Kläranlagen die Umsetzung einer mobilen Entwässerung untersucht werden:

- Nittendorf (evtl. auch stationär)
- Duggendorf
- Kallmünz (evtl. auch stationär)

Für manche Kläranlagen gibt es mehrere Möglichkeiten der Zusammenarbeit oder bei der Entwässerung. Die aufgezeigten Entwässerungscluster sind somit nicht als final zu betrachten. Sie sollen lediglich einen Überblick geben, welche Möglichkeiten im Landkreis Regensburg bestehen.

#### **4.1.6 Möglichkeiten der Klärschlammverwertung**

Der Bau der Klärschlammfaulung sowie die Strukturierung der Klärschlamm entwässerung bilden die Basis für die weitere Klärschlammbehandlung. Diese ist hauptsächlich von der finalen Art der Klärschlammverwertung abhängig. Aufgrund einer Vielzahl von Verwertungsmöglichkeiten des Klärschlammes werden im Folgenden die relevantesten für den Landkreis Regensburg erläutert.

Die Verwertung kann in drei Kategorien unterschieden werden:

1. Verwertung von entwässertem Klärschlamm (nach dem Stand der Technik)
2. Verwertung von getrocknetem Klärschlamm (nach dem Stand der Technik)
3. Alternative Verwertungsverfahren

Bei allen Verwertungswegen ist die gesetzliche Phosphorrückgewinnungspflicht aus Klärschlamm oder Klärschlammasche zu beachten. Ab 2029 gilt diese für alle Kläranlagen der Größenklasse I bis V, wenn sich im Klärschlamm mehr als 2 % Phosphor, also 20 Gramm oder mehr je Kilogramm Trockenmasse, befinden. Zudem besteht ab 2023 eine Berichtspflicht für alle Kommunen, die im Jahr 2023 eine Abwasserbehandlungsanlage betreibt. Hierbei muss eine Stellungnahme abgegeben werden, wie zukünftig die Phosphorrückgewinnung gewährleistet werden soll. Ab 2029 ist die bodenbezogene Verwertung des Klärschlammes für Kläranlagen der Größenklasse V nicht mehr zulässig. Das Gleiche gilt ab 2032 ebenfalls für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 50.000 EW. Kläranlagen unter einer Ausbaugröße von 50.000 EW dürfen weiterhin den Klärschlamm bodenbezogen verwerten, da dies als Phosphorrückgewinnung gewertet wird.

#### **4.1.6.1 Verwertung von entwässertem Klärschlamm (nach dem Stand der Technik)**

Aktuell zählen bei der Klärschlammverwertung Mono- und Mitverbrennungsanlagen zum Stand der Technik. Die Technologien sind ausgereift und haben sich am Markt im großtechnischen Maßstab etabliert.

Verwertungsmöglichkeiten für den entwässerten Klärschlamm bestehen derzeit noch in der Mitverbrennung. Hier wird der Klärschlamm wegen seines hohen Wassergehaltes häufig zur Temperaturregelung eingesetzt. Aufgrund der Pflicht zur Phosphorrückgewinnung ab 2029 und dem geplanten Ausstieg aus der Stromerzeugung mittels Kohlekraftwerke sowie Kapazitätsengpässe in der Mitverbrennung, ist dieser Verwertungsweg nur noch eingeschränkt möglich.

Durch die Klärschlammmonoverbrennung werden zusätzliche Verwertungskapazitäten geschaffen. Je nach Anlagenkonzept kann entwässertes (25 % - TS) oder getrockneter (90 % - TS) Klärschlamm verwertet werden. Derzeit laufen in Bayern Planungen zum Bau mehreren Monoverbrennungsanlagen. Im Umkreis des Landkreises Regensburg befindet sich derzeit die Anlage in Mallersdorf-Pfaffenberg im Bau und die Anlage in Straubing noch in Planung. Das Anlagenkonzept sieht jeweils eine vorgeschaltete Trocknung des Klärschlammes mittels der Abwärme aus dem Verbrennungsprozess vor.

Zudem plant Bayernoil, die größte Raffineriegesellschaft in Bayern, derzeit an ihrem Standort in Vohburg eine Verwertungsanlage für Klärschlamm. Die alternative Verwertungstechnologie „Bayosine“ soll laut derzeitigem Planungsstand aus einer Klärschlamm Trocknung und der TCR-Technologie bestehen. Somit kann entwässertes und getrockneter Klärschlamm am Standort verwertet werden. Die Trocknung erfolgt mittels Abwärme, die vor Ort zur Verfügung steht. Im Prozess des TCR-Verfahrens entsteht unter anderem ein Öl, das als Grundlage zur Herstellung von Kraftstoffen genutzt werden soll. Nach aktuellem Kenntnisstand soll der Versuchsbetrieb bereits 2023 mit einer Kapazität von ca. 96.000 t/a (25 %-TS) in Betrieb gehen. Der kommerzielle Betrieb mit etwa der Hälfte der geplanten Anlagengröße soll im Jahr 2025 starten. Die komplette Anlage soll im Jahr 2030 mit insgesamt 400.000 Tonnen (25 % - TS) Durchsatz fertiggestellt sein.

#### **4.1.6.2 Verwertung von getrocknetem Klärschlamm (nach dem Stand der Technik)**

Voraussetzung für die Verwertung von getrocknetem Klärschlamm ist die vorherige Entwässerung und Trocknung. Derzeit besteht an der Kläranlage des AZV Pfattertal eine Klärschlamm Trocknung in Form eines Bandtrockners. Teilweise wird hier schon Klärschlamm aus umliegenden Kommunen zur Entwässerung und anschließenden Trocknung angeliefert. Laut Datenerfassung gibt es noch Kapazitäten in der Trocknungsanlage zur Annahme von weiteren 750 Tonnen entwässertem Klärschlamm. Die Errichtung weiterer Trocknungsanlagen im Landkreis Regensburg wurde nicht betrachtet, da dies im Rahmen des Energienutzungsplanes nicht vorgesehen ist.

Wie aus Kapitel 4.1.6.1 bekannt, kann in den geplanten Klärschlammmonoverbrennungsanlagen Straubing und Mallersdorf-Pfaffenberg neben entwässertem auch getrockneter Klärschlamm verwertet werden. Ebenso verhält es sich bei der geplanten Verwertungsanlage in Vohburg am Standort von Bayernoil. Zudem kann derzeit getrockneter Klärschlamm im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt (GKS) mitverbrannt werden. Dort soll ab 2026 eine Klärschlammmonoverbrennung für getrockneten Klärschlamm in Betrieb gehen. Weitere Planungen zur Monoverbrennung von Klärschlamm laufen derzeit im Raum Nürnberg. Derzeit ist man dort auf Standortsuche, da der vorgesehene Standort abgelehnt wurde. Ebenso geplant war eine weitere Monoverbrennungsanlage in Mailing. Hier trafen die Planungen auf großen Widerstand aus der Bevölkerung, weshalb das Vorhaben pausiert wurde, um eine Studie zu alternativen Klärschlammverwertungsmöglichkeiten zu erstellen.

#### 4.1.6.3 Alternative Verwertungsverfahren

Neben den Klärschlammverwertungsmöglichkeiten auf dem Stand der Technik gibt es zusätzlich alternative Möglichkeiten der Klärschlammverwertung. Hierbei wird der Klärschlamm nicht verbrannt und zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt, sondern daraus Produkte zur Weiterverwendung hergestellt. Ziel dabei ist, die je nach Technologieeinsatz entstehenden Produkte am Standort zu nutzen. In Kapitel 4.1.2.5 wurde bereits eine Auswahl an alternativen Verfahren und deren Prozessbeschreibung mit den Ausgangsstoffen erläutert. In den kommenden Jahren könnten diese Technologien zur Verwertungssicherheit des Klärschlammes beitragen, auch wenn sie aktuell noch nicht als Stand der Technik angesehen werden können. Voraussetzung für die Sicherung der Klärschlammverwertung dieser Verfahren ist die Weiterentwicklung vom Pilotstatus zu einem marktreifen Verfahren, um Klärschlamm im großtechnischen Maßstab verwerten zu können. Derzeit befinden sich die aufgeführten Verfahren noch in der Entwicklungsphase, haben aber das Potenzial zukünftig am Markt etabliert zu werden.

Wird eine alternative Verwertungstechnologie zur Klärschlammverwertung angeschafft sollte ein schlüssiges Gesamtkonzept vorliegen. Es ist wichtig die Produkte aus dem Verfahren möglichst am Standort oder regional nutzen zu können. Beispiele für alternative Verwertung sind das blueFlux-Verfahren oder die Klärschlammpyrolyse nach dem Pyreg-Verfahren.

Die blueFLUX-Anlage nutzt die Hydrolyse und Vergasung von Klärschlamm zur Erzeugung von Wasserstoff. Dieser könnte genutzt werden, um einen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Mobilität zu leisten. Außerdem könnte er zu einem gewissen Anteil in ein Erdgasnetz eingespeist werden, sofern am Anlagenstandort ein solches vorhanden ist. Ebenfalls möglich wäre der Vertrieb an ein Unternehmen mit Wasserstoffbedarf. Die im Prozess als Nebenprodukt entstehende Abwärme könnte in ein Wärmenetz eingespeist oder zur Faulturmbeheizung auf einer Kläranlage genutzt werden. Da es sich hierbei um regenerative Abwärme handelt, führt diese zu einer besseren CO<sub>2</sub>-Bilanz und kann zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung beitragen. Auch im Hinblick auf die steigenden Energiepreise und die Klimaziele der Bundes- und Landesregierung würde mit der Abwärmenutzung ein positiver Beitrag geleistet werden.

In Pyrolyseanlagen entsteht aus dem Klärschlamm ein Karbonisat, welches mit Nährstoffen angereichert ist. Das Karbonisat ist theoretisch als Düngemittel einsetzbar. Laut einem Urteil des Verwaltungsgerichts Koblenz vom 25.11.2021 ist es als Düngemittel in Deutschland nicht zugelassen. Auch in der neuen europäischen Düngemittelverordnung ist das Karbonisat aus der Klärschlammpyrolyse nicht aufgeführt. Somit kann es derzeit nur als Ersatzbrennstoff in der Mitverbrennung eingesetzt werden.

Neben dem Karbonisat entsteht im Prozess Abwärme, die den Herstellerangaben zufolge zur Trocknung des Klärschlammes in einem vorgeschalteten Trockner genutzt werden kann. Je nach Hersteller kann zusätzlich zur Trocknung noch Wärme ausgekoppelt und beispielsweise in ein Wärmenetz eingespeist werden. Voraussetzung ist wie bei der blueFLUX-Anlage ein vorhandenes Wärmenetz, da die Erschließung eines neuen Wärmenetzes mit hohem Aufwand verbunden wäre. Auch hier könnte bei Wärmeauskopplung ein positiver Beitrag zum Erreichen der Klimaziele geleistet werden, sollte die Wärme in ein Wärmenetz eingespeist werden.

#### **4.1.7 Zusammenfassung und Ausblick**

Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden verschiedene Wege zur energetischen Klärschlammverwertung aufgezeigt. Die Datenerfassung bildet die Grundlage für die Betrachtung. Aus den vorliegenden Daten geht hervor, dass auf keiner Kläranlage im Landkreis Regensburg eine Klärschlammfäulung vorhanden ist. Die Auswertung ergab fünf potenzielle Standorte, an denen eine Fäulung mit anschließender Klärgasverstromung sinnvoll wäre. Die daraus erzeugbare Strommenge liegt bei etwa 1,25 Mio. kWh pro Jahr. Die damit einhergehende Wärmeerzeugung beträgt ca. 2,14 kWh pro Jahr. Somit würden sich theoretisch jährlich gut 1.100 t Treibhausgase einsparen lassen.

Der zweite Schritt der Klärschlammbehandlung ist die Entwässerung. Im Landkreis Regensburg liegen bereits ca. 65 % des Klärschlammes in entwässert Form vor. Voraussetzung für die thermische Klärschlammverwertung ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes. Derzeit werden im Landkreis zwei stationäre Entwässerungsanlagen betrieben, an acht weiteren Kläranlagen werden mobile Aggregate eingesetzt. Von drei Kläranlagen wurden keine Daten angegeben. Ziel ist es, den gesamten Klärschlamm des Landkreises in entwässert Form vorliegen zu haben. Damit dies umgesetzt werden kann sollten, wie in Kapitel 4.1.5 beschrieben, Entwässerungscluster gebildet werden. Durch die interkommunale Zusammenarbeit kann eine ganzheitliche Entwässerung sichergestellt werden, auch an Kläranlagen, die selbst keine Entwässerung durchführen können. Für manche Kläranlagen bestehen mehrere Möglichkeiten der Klärschlamm-entwässerung und Zusammenarbeit mit anderen Kläranlagen.

Die anschließende Verwertung des Klärschlammes findet laut Datenerfassung derzeit zu gut 40 % in der Landwirtschaft statt. In Zukunft wird dies durch die ab 2029 vorgeschriebene Phosphorrückgewinnung nur noch eingeschränkt möglich sein. Es wird empfohlen die Entwässerungsstruktur zeitnah umzusetzen, da dies die Basis für die weiteren Verwertungswege bildet. Die Klärschlammverwertung sollte idealerweise durch interkommunale Zusammenarbeit erfolgen, weshalb hier zeitig Absprachen getroffen werden sollten.

Für die Verwertung von entwässertem Klärschlamm wird empfohlen auf das Fortschreiten des Projektes bei Bayernoil zu warten und die Entwicklungen zu beobachten. Alternativ kann die Klärschlammverwertung aufgrund der Regionalität in der geplanten Monoverbrennungsanlage in Straubing erfolgen.

Die Verwertung von getrocknetem Klärschlamm setzt eine Trocknung nach der Entwässerung voraus. Im Landkreis Regensburg besteht eine Klärschlamm-trocknung auf der Kläranlage des AZV Pfattertal. Laut Datenerfassung sind hier noch Kapazitäten zur Trocknung von Klärschlamm vorhanden. Beim Aufbau einer neuen Trocknungsanlage sollte idealerweise nicht genutzte Abwärme aus Biogasanlagen oder Industrie und Gewerbe genutzt werden. Im Rahmen dieses ENPs wurden keine Abwärmequellen erfasst und somit keine potenziellen Standorte zur Klärschlamm-trocknung ermittelt. Dies bedarf einer separaten Detailbetrachtung. Eine anschließende Verwertung ist in den Monoverbrennungsanlage Straubing oder Mallersdorf-Pfaffenberg sowie bei Bayernoil und dem Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt möglich.

Ist ein Verwertungsweg gewählt, sollte Kontakt zu den Betreibern aufgenommen und Verwertungs-kapazitäten gesichert werden.

Auch die alternativen Verwertungsmöglichkeiten dürfen nicht außer Acht gelassen werden, da diese in Zukunft zur Klärschlammverwertungssicherheit beitragen können. Positiv ist hierbei zu bewerten, dass die Klärschlammverwertung unabhängig von den Marktpreisen und Verwertungs-kapazitäten möglich ist. Neben der Verwertung des Klärschlammes werden durch die Verfahren zusätzlich Produkte hergestellt, die vermarktet werden können. Bei der Pyrolyseanlage entsteht neben dem Karbonisat Wärme, welche zur Vortrocknung genutzt werden kann. Das Karbonisat könnte als Düngemittel eingesetzt werden, ist laut Urteil des Verwaltungsgerichts Koblenz aus dem Jahr 2021 aber nicht als Düngemittel zugelassen und muss in der Mitverbrennung entsorgt werden. Dies ist aktuell als negativ anzusehen. Die blueFLUX-Anlage erzeugt aus Klärschlamm die Produkte Wasserstoff und Wärme. Voraussetzung für ein schlüssiges Gesamtkonzept ist die anschließende Nutzung der Produkte. Der Wasserstoff könnte einen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Mobilität leisten oder zu einem gewissen Anteil mit in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden, sofern ein solches vorhanden ist. Auch der Vertrieb an Unternehmen mit Wasserstoffbedarf im Produktionsprozess ist eine Möglichkeit. Die entstehende Wärme kann in ein Wärmenetz eingespeist oder zur Faulturmheizung genutzt werden, sofern am Standort vorhanden. Hierdurch könnte ein positiver Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung geleistet werden.

Die Konkretisierung und Detailbetrachtung der Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis Regensburg könnte in einem auf diesen Energienutzungsplan folgenden Konzept bearbeitet werden. Auch der Vergleich der verschiedenen Verwertungswege hinsichtlich Ökonomie und Ökologie kann dabei mit betrachtet werden.



## 4.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz

In Tabelle 3 ist eine zusammenfassende Übersicht der Energieeinsparpotenziale in den einzelnen Verbrauchergruppen bis zum Jahr 2040 dargestellt. Die Einsparpotenziale beziehen sich hierbei auf die derzeitige Gebäudestruktur mit ihrer aktuellen „Nutzung und Bewirtschaftung“ lt. den Eintragungen im GIS (keine Berücksichtigung von z. B. Neubaugebieten oder geänderter Nutzung von Bestandsgebäuden oder Änderungen hinsichtlich der Produktion in Unternehmen). Die Erläuterungen zu den Energieeinsparpotenzialen sind in den nachfolgenden Kapiteln näher ausgeführt.

**Tabelle 3: Zusammenfassung der Effizienzsteigerungs- und Energieeinsparpotenziale in den einzelnen Verbrauchergruppen [EVU Erdgas; EVU Strom; EVU Fernwärme; Energieatlas]**

		Endenergie Ist-Zustand [MWh/a]	Maßnahme	Einsparpotential		Endenergie-einsatz in 2040 [MWh/a]
				[%]	[MWh/a]	
Private Haushalte	Endenergie thermisch	1.573.702	Wärmedämmmaßnahmen Sanierungsrate 2 %/a auf 100 kWh/m <sup>2</sup>	14,3%	225.578	1.348.124
	Endenergie elektrisch	252.031	Energieeinsparung (EU-Richtlinie 1,5%/a)	26,1%	65.746	186.286
Kommunale Liegenschaften	Endenergie thermisch	25.512	Energieeinsparung (EU-Richtlinie 1,5%/a)	26,1%	6.655	18.857
	Endenergie elektrisch	17.053	Energieeinsparung (EU-Richtlinie 1,5%/a)	26,1%	4.449	12.605
Wirtschaft	Endenergie thermisch	807.315	Energieeinsparung (EU-Richtlinie 1,5%/a)	26,1%	210.599	596.716
	Endenergie elektrisch	326.910	Energieeinsparung (EU-Richtlinie 1,5%/a)	26,1%	85.279	241.631

### 4.2.1 Gebäudescharfes Sanierungskataster

Für die Potenzialanalyse zur energetischen Sanierung wurde ein Sanierungskataster auf Basis des gebäudescharfen Wärmekatasters für Wohngebäude erstellt. Für jedes enthaltene Gebäude stellt das Sanierungskataster die mögliche Energieeinsparung für definierte Sanierungsvarianten bzw. Sanierungstiefen dar. Jeder Sanierungsvariante liegen Maßnahmen der energetischen Gebäudesanierung zu Grunde. Hierzu zählen beispielsweise die Dämmung von Außenwänden, Dachflächen und Kellergeschossdecken oder der Austausch von Fenstern und Türen, um einen höheren Energiestandard zu er-

reichen. Für jedes Gebäude und jede Sanierungsvariante wird der Wärmebedarf getrennt nach Raumwärme und Warmwasser ausgewiesen, da die energetische Sanierung den Warmwasserbedarf kaum beeinflusst.

Auch für die Entwicklung von Zukunftsstrategien für Fernwärme- oder Gasversorgungsinfrastrukturen bildet das Sanierungskataster Szenarien des künftigen Wärmebedarfs ab. Hierbei wurden die in den Verbrauchergruppen beschriebenen Einsparpotenziale kartografisch dargestellt. Weiterhin bietet das Sanierungskataster maßnahmenscharfe Informationen zum Sanierungspotenzial einzelner Gebäude, die als Grundlage für die Identifikation städtebaulicher Sanierungsgebiete mit energetischen Missständen dienen können. Maßnahmen, wie etwa die Erstellung von geförderten Quartierskonzepten, lassen sich daraus ableiten. Die Informationen zum Sanierungspotenzial können darüber hinaus in Aktivitäten zur Energie-Erstberatung einfließen und die Gestaltungen kommunaler Förderprogramme stützen.



**Abbildung 25: Beispielhafter Ausschnitt des Sanierungskatasters mit Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotenziale (links Jahr 2020 – rechts Jahr 2040)**

## 4.2.2 Private Haushalte

### Wärme

Für die Sanierungsvarianten im Wohngebäudebestand wurden Berechnungen mit der Maßgabe einer ambitionierten, aber realistischen Sanierungsrate der Wohngebäudefläche von 2 % pro Jahr durchgeführt.

Ausgehend von der Energieeffizienz der Bestandsgebäude in der Kommune wurde das energetische Einsparpotenzial durch Sanierung der Gebäude sowie der Anlagentechnik gebäudescharf berechnet.

1. Eine Sanierungsquote von 2 % pro Jahr bezogen auf die Gebäudenutzfläche
2. Es werden jeweils die ineffizientesten Gebäude bevorzugt energetisch saniert
3. Die Sanierung erfüllt die regulatorischen Mindestanforderungen nach GEG 2020

#### **Szenario 1: Sanierung der Wohngebäude auf ein zukünftiges Energiebedarfsniveau 100 kWh/m\*a**

Durch die Einsparmaßnahmen wird in diesem Szenario im gesamten Wohngebäudebestand ein spezifischer Wärmeverbrauch von im Mittel 131 kWh/m<sup>2</sup> erzielt (im Ist-Zustand beläuft sich der spezifische Wärmeverbrauch im Mittel auf rund 153 kWh/m<sup>2</sup>). Die hier zu Grunde gelegte Sanierungsrate und Sanierungstiefe liegt über dem Bundesdurchschnitt, könnte jedoch über entsprechende Informations-, Beratungs- und Fördermaßnahmen erreicht werden.

Würde dieses Szenario bis zum Jahr 2040 kontinuierlich umgesetzt werden, würde dies einer Reduktion des thermischen Energieverbrauchs der Wohngebäude von 1.573.700 MWh im Jahr 2020 auf rund 1.348.100 MWh im Jahr 2040 (rund 14,3 % Einsparung) bedeuten.

#### **Szenario 2: Sanierung der Wohngebäude auf ein zukünftiges Energiebedarfsniveau 70 kWh/m\*a**

Durch die erhöhten Maßnahmen zur Energieeinsparung wird in diesem Szenario ein spezifischer Wärmeverbrauch von im Mittel 118 kWh/m<sup>2</sup> erzielt (Ist-Zustand rund 150 kWh/m<sup>2</sup>).

Würde dieses Szenario bis zum Jahr 2040 kontinuierlich umgesetzt werden, würde dies einer Reduktion des thermischen Energieverbrauchs der Wohngebäude auf rund 1.204.900 MWh im Jahr 2040 (rund 23,4 % Einsparung) bedeuten.

Für einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand (Zieldefinition für das Jahr 2040 auf Landesebene) sind jedoch weitere Anstrengungen nötig. Wichtiger Faktor hierbei ist der angestrebte Energiestan-

dard, welcher durch die Erlangung eines Effizienzhausstandards zur weiteren Absenkung des Heizwärmebedarfs beiträgt. So ist es derzeit bereits möglich auch Bestandsgebäude bei einer grundlegenden Sanierung in Richtung Effizienzhaus 55 zu optimieren. Dies würde weitere Einsparungen in Höhe von rund 25 – 30 % beim Endenergiebedarf von Wohngebäuden bedeuten. Flankiert wird dieses Ziel durch eine anzustrebende, weitestgehend regenerative Wärme- bzw. Energieversorgung der Liegenschaften. Abbildung 26 zeigt die exemplarische Darstellung des Sanierungskatasters im GIS ausgehend vom Ist-Zustand hin zum kartografischen Schema bei Sanierung der Liegenschaften hin zu einem energetischen Stand mit einem Wärmebedarf von 100 kWh/m\*a bzw. 70 kWh/m\*a.



**Abbildung 26: Kartografische Darstellung der Energieeffizienz im Ausgangszustand sowie den Szenarien „100“ und „70“ (Wärmekataster; Sanierungskataster 2040 mit Sanierung auf Wärmebedarf 100 kWh/m²a bzw. 70 kWh/m²a; 1,5 % für Nicht-Wohngebäude; statistische Erhebung; mit OSM-Layer)**

## Strom

Der Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten trägt zu einer Reduzierung des Stromverbrauchs und somit auch zu einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei. Die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ erfolgt in Anlehnung an die EU-Energie-Effizienzrichtlinie (EED). Es wird angenommen, dass jährlich 1,5 % des Strombedarfs eingespart werden können. In Summe kann der Stromverbrauch in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ bis zum Jahr 2040 von derzeit 252.000 MWh auf 186.300 MWh gesenkt werden (rund 26 %).

*Hinweis: Im Rahmen dieser Studie wurden die Einsparpotenziale anhand des aktuellen Stromverbrauchs und durch Austausch/Optimierung der aktuell installierten Anlagentechnik berechnet. Eine Berücksichtigung neuer stromverbrauchender „Anwendungsbereiche“ (z.B. Wärmepumpen, E-Mobilität) sind im Kapitel 4.3 dargestellt.*

### 4.2.3 Kommunale Liegenschaften / Liegenschaften des Landkreises

Aus Sicht des Bundes kommt den Kommunen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen zu. Die Motivation zur eigenen Zielsetzung und Mitwirken bei der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Kommunen kann dabei in mehrere Ebenen untergliedert werden:

- Die Selbstverpflichtung aus Überzeugung von der Notwendigkeit des Handelns
- Die Vorbildfunktion für alle Bürger
- Die wirtschaftliche Motivation

In Abstimmung mit den Akteuren vor Ort erfolgt die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften / Liegenschaften des Landkreises“ in Anlehnung an die EU-Energie-Effizienzrichtlinie (EED). Es wird angenommen, dass, bezogen auf den Ist-Zustand, bis zum Zieljahr 2040 jährlich:

- **1,5 % des Strombedarfs**
- **1,5 % des thermischen Endenergiebedarfs**

eingespart werden können. Als Ergebnis können bei Ausschöpfen der Energieeinsparpotenziale im Bereich der kommunalen Liegenschaften im gesamten Landkreis der Stromverbrauch von derzeit 17.050 MWh/a auf rund 12.600 MWh im Jahr 2040 und der Wärmebedarf von rund 25.510 MWh/a auf 18.860 MWh/a gesenkt werden.

Konkrete Projektideen zur Erreichung dieser Zielvorgabe in der Kommune wurden im Rahmen der Regionalkonferenzen ausgearbeitet und sind im Maßnahmenkatalog (Kapitel 6) dargestellt.

*Hinweis: Im Rahmen dieser Studie wurden die Einsparpotenziale anhand des aktuellen Stromverbrauchs und durch Austausch/Optimierung der aktuell installierten Anlagentechnik berechnet. Eine Berücksichtigung neuer stromverbrauchender „Anwendungsbereiche“ (z.B. Wärmepumpen, E-Mobilität) sind im Kapitel 4.3 dargestellt.*

#### 4.2.4 Wirtschaft

Da gewerblich / industriell genutzte Gebäude je nach Betrieb und Branche sehr unterschiedlichen Nutzungen unterliegen, kann eine genaue Analyse der Energieeinsparpotenziale nur durch eine ausführliche Begehung sämtlicher Betriebe sowie der damit verbundenen, umfangreichen Datenerhebung erfolgen. In Abstimmung mit den beteiligten Akteuren erfolgt die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Wirtschaft“ daher in Anlehnung an die EU-Energie-Effizienzrichtlinie.

Es wird angenommen, dass, bezogen auf den Ist-Zustand, bis zum Zieljahr 2040 jährlich:

- **1,5 % des Strombedarfs**
- **1,5 % des thermischen Endenergiebedarfs**

eingespart werden können.

Mit dieser Zielstellung könnte bis zum Jahr 2040 der thermische Energiebedarf von 807.300 MWh pro Jahr im Ist-Zustand auf 596.700 MWh reduziert werden. Der Strombedarf könnte von 326.900 MWh/a auf 241.600 MWh/a reduziert werden.

*Hinweis: Im Rahmen dieser Studie wurden die Einsparpotenziale anhand des aktuellen Stromverbrauchs und durch Austausch/Optimierung der aktuell installierten Anlagentechnik berechnet. Eine Berücksichtigung neuer stromverbrauchender „Anwendungsbereiche“ (z.B. Wärmepumpen, E-Mobilität) sind im Kapitel 4.3 dargestellt.*



### **4.3 Transformationsprozesse**

Für das Erreichen der Klimaneutralität (Dekarbonisierung des Energiesystems) ist es erforderlich, bestimmte Bereiche zu elektrifizieren und damit die Verbrennung fossiler Energieträger zu substituieren. Dies betrifft zum einen den Sektor Mobilität und zum anderen den Sektor Wärme.

#### **4.3.1 Elektrifizierung im Sektor Mobilität**

Im Bereich Mobilität beinhaltet die Transformation eine entweder direkte Elektrifizierung der Antriebstechnologien (Batterie-elektrisch) oder eine Elektrifizierung der Antriebe über eine Zwischenstufe (z.B. Wasserstoff). In Anlehnung an die im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie e.V. erstellte Studie „Klimapfade für Deutschland“ [BDI, Berechnung IfE], kann für das Aufstellen eines möglichen Transformationsszenarios der Anteil batterieelektrischer und wasserstoffbetriebener Transportmittel auf in etwa 38 % im Jahr 2030 und auf rund 88 % im Jahr 2040 beziffert werden. Da elektrische Antriebe (gemäß Endenergiebedarf) energieeffizienter arbeiten als konventionelle Verbrennungsmotoren, geht mit dem Transformationsschritt auch eine direkte Energieeinsparung einher. So benötigt der Elektromotor im Vergleich nur noch rund ein Drittel dessen, was ein klassischer Benzin- oder Dieselmotor benötigt [Berechnung IfE]. Parallel dazu muss die dafür erforderliche elektrische Energie entweder unmittelbar aus erneuerbaren Stromquellen oder indirekt aus erneuerbaren Quellen mit einem Zwischenschritt (z.B. Wasserstoff) zur Verfügung gestellt werden. Der Strombedarf steigt also insgesamt an und beläuft sich unter den beschriebenen Annahmen im betrachteten Szenario im Jahr 2040 auf rund 530.660 MWh<sub>el</sub> (siehe Abbildung 34).

#### **4.3.2 Elektrifizierung durch den Einsatz von Wärmepumpen (Power to Heat)**

Unter Power to Heat wird die Erzeugung von Wärme unter dem Einsatz elektrischer Energie verstanden. Insbesondere der Einsatz von Wärmepumpen (mit denen je nach Typ Jahresarbeitszahlen > 4 erreicht werden können) stellt eine wesentliche Zukunft der künftigen Wärmeversorgungsstruktur in Deutschland dar. Das Bundeswirtschaftsministerium hat im Jahr 2021 das Ziel formuliert, dass bis zum Jahr 2030 insgesamt 6 Millionen Wärmepumpen in Deutschland installiert sein sollen [BMWi]. Bei einem Wohngebäudebestand in Höhe von rund 19 Millionen Wohngebäuden in Deutschland [STATISTA B] entspricht dies rund einem Drittel aller Gebäude. Dieses Ziel wird für das Entwicklungsszenario im Rahmen dieses Energienutzungsplans übernommen.

Aufgrund der Ziele des Freistaats Bayern, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu sein [Bayerische Staatsregierung], wird von einer nochmaligen Verdopplung der Anzahl an Wärmepumpen im Zeitraum 2030 bis 2040 ausgegangen. Somit wird im Rahmen des Entwicklungsszenarios dieses Energienutzungsplans angesetzt, dass im Jahr 2040 rund 60% des dann noch vorhandenen Wärmebedarfs der Wohngebäude über Wärmepumpen / Power to Heat Lösungen versorgt werden [Berechnung IfE]. Für die Berechnung des künftigen Strombedarfs für Wärmepumpen wird von einer Jahresarbeitszahl von 3,0 ausgegangen, wodurch sich ein Heizstrombedarf von insgesamt 283.800 MWh<sub>el</sub> ergibt. Wird der bereits im Ist-Zustand ermittelte Heizstrombedarf von ca 40.600 MWh addiert, ergibt sich ein Heizstrombedarf von insgesamt ca. 324.400 MWh/a. Nähere Informationen sind in Kapitel 0 und in Abbildung 34 dargestellt.

## 4.4 Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien

Basis für die Ausarbeitung der Potenzialanalyse ist zunächst die Festlegung auf einen Potenzialbegriff. Nachfolgende Potenzialbegriffe werden im Rahmen des Energienutzungsplans definiert:

### **Das theoretische Potenzial**

*Das theoretische Potenzial ist als das physikalisch vorhandene Energieangebot einer bestimmten Region in einem bestimmten Zeitraum definiert (deENet, 2010). Das theoretische Potenzial ist demnach z. B. die Sonneneinstrahlung innerhalb eines Jahres, die nachwachsende Biomasse einer bestimmten Fläche in einem Jahr oder die kinetische Energie des Windes im Jahresverlauf. Dieses Potenzial kann als eine physikalisch abgeleitete Obergrenze aufgefasst werden, da aufgrund verschiedener Restriktionen in der Regel nur ein deutlich geringerer Teil nutzbar ist.*

### **Das technische Potenzial**

*Das technische Potenzial umfasst den Teil des theoretischen Potenzials, der unter den gegebenen Energieumwandlungstechnologien und unter Beachtung der aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen erschlossen werden kann. Im Gegensatz zum theoretischen Potenzial ist das technische Potenzial veränderlich (z. B. durch Neu- und Weiterentwicklungen) und vom aktuellen Stand der Technik abhängig (deENet, 2010).*

### **Das wirtschaftliche Potenzial**

*Das wirtschaftliche Potenzial ist der Teil des technischen Potenzials, der „unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen interessant ist“ (deENet, 2010).*

### **Das erschließbare Potenzial**

*Bei der Ermittlung des erschließbaren Potenzials werden neben den wirtschaftlichen Aspekten auch ökologische Aspekte, Akzeptanzfragen und institutionelle Fragestellungen berücksichtigt. Demnach werden sowohl mittelfristig gültige wirtschaftliche Aspekte als auch gesellschaftliche und ökologische Aspekte bei der Potenzialerfassung herangezogen.*

Der vorliegende Energienutzungsplan orientiert sich bei der Potenzialbetrachtung am **technischen Potenzial**. Dabei wird zwischen bereits genutztem und noch ungenutztem Potenzial differenziert. Das genutzte Potenzial verdeutlicht, welchen Beitrag die bereits in Nutzung befindlichen erneuerbaren Energieträger liefern. Das noch ungenutzte Potenzial zeigt, welchen zusätzlichen Beitrag erneuerbare Energiequellen leisten können.

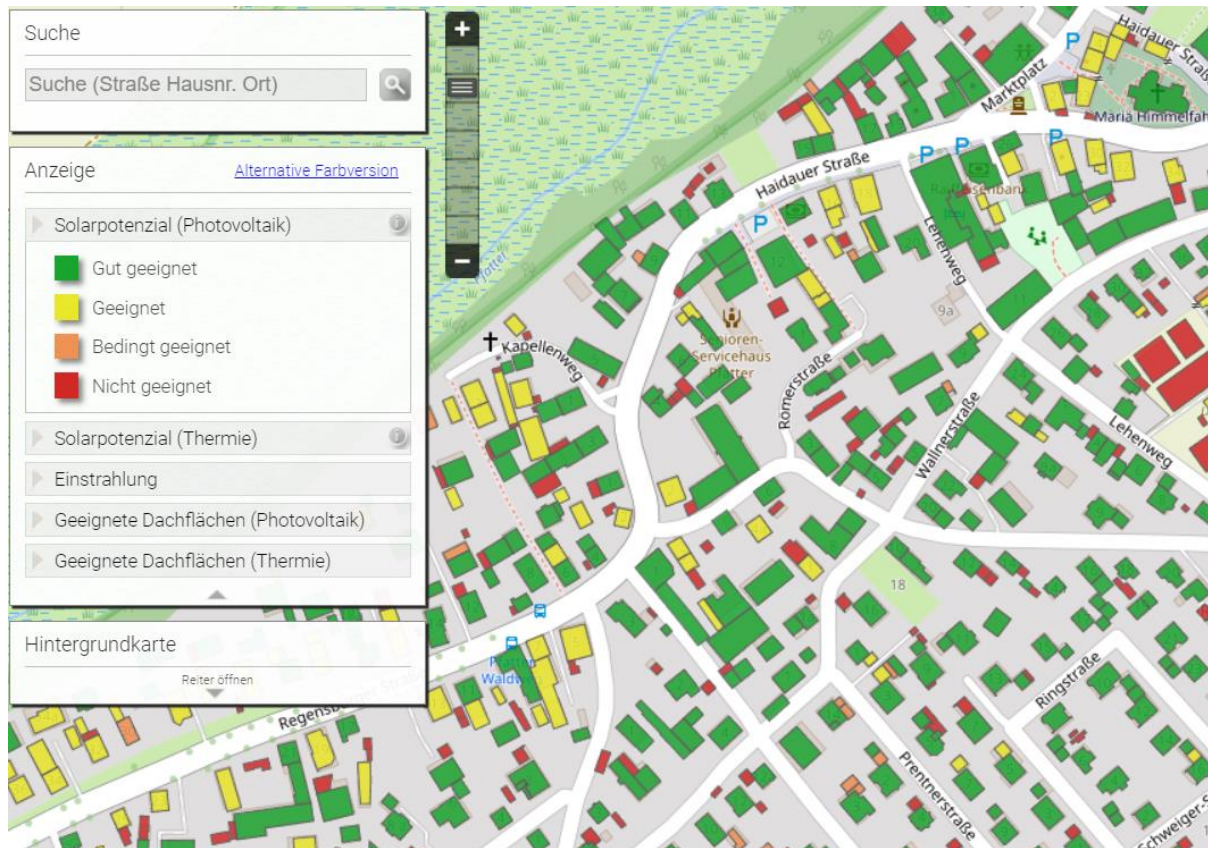
#### **4.4.1 Solarthermie und Photovoltaik**

Die Nutzung der direkten Sonneneinstrahlung ist auf verschiedene Arten möglich. Zum einen stehen Möglichkeiten der passiven Nutzung von Sonnenlicht und -wärme zur Verfügung, die vor allem in der baulichen Umsetzung bzw. Gebäudearchitektur Anwendung finden (z. B. solare Gewinne über großzünftig verglaste Fassaden). Zum anderen kann die Sonnenstrahlung aktiv zur Energieerzeugung genutzt werden, in erster Linie zur Warmwasserbereitung (Solarthermie) und Stromerzeugung (Photovoltaik).

##### **4.4.1.1 Solarpotenzialkataster**

Zur Analyse der Photovoltaik- und Solarthermiepotenziale auf Dachflächen wurde das gebäudescharfe Solarpotenzialkataster für den Landkreis Regensburg ausgewertet (<https://www.solare-stadt.de/landkreis-regensburg/>). Grundlage für die Solarpotenzialanalyse sind Laserscandaten, die beim Überfliegen des jeweiligen Untersuchungsgebietes generiert wurden. Aus diesen Informationen wird ein vereinfachtes Modell der Häuser und der umgebenden Objekte (z. B. Bäume) erstellt. Dabei werden Einstrahlung und Verschattung berechnet. Stark verschattete Bereiche werden als nicht geeignet identifiziert. Für die übrigen Dachflächen wird die Einstrahlung für den Verlauf eines ganzen Jahres bestimmt.

Somit können alle Dachflächen auf Grundlage der Einstrahlungssimulation kategorisiert werden, inwieweit diese zur Installation von Solarthermie- oder Photovoltaikmodulen geeignet sind. Das Solarpotenzialkataster dient als Basis der Potenzialanalyse für Solarthermie und Photovoltaik auf Dachflächen in den Kommunen des Landkreises.



**Abbildung 27:** Auszug Solarpotenzialkataster für den Landkreis Regensburg (<https://www.solare-stadt.de/landkreis-regensburg>)

#### 4.4.1.2 Solarthermie auf Dachflächen

Viele der für die solare Nutzung geeigneten Dachflächen (siehe Solarpotenzialkataster) können sowohl für die Installation von Solarthermieanlagen als auch für die Installation von Photovoltaikanlagen für die Stromproduktion genutzt werden. Aufgrund der direkten Standortkonkurrenz der beiden Techniken muss dabei eine prozentuale Verteilung berücksichtigt werden. Um ein praxisbezogenes Ausbausoll an Solarthermiefläche vorgeben zu können, wird als Randbedingung ein Deckungsziel von 60% des Warmwasserbedarfs in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ anvisiert. Dieses Deckungsziel (sprich der Anteil am gesamten Warmwasserbedarf, der durch Solarthermie erzeugt werden soll) wurde mit den beteiligten Akteuren abgestimmt. Ausgehend von einem spezifischen Energiebedarf für die Brauchwassererwärmung von  $12,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{WF}} \cdot \text{a}$  [EnEV] ergibt sich für das Betrachtungsgebiet ein jährlicher Gesamt-Energiebedarf von rund  $128.200 \text{ MWh}_{\text{th}}$  für die gesamte Wassererwärmung. Das angestrebte Deckungsziel wird auf 60 % festgelegt. Dies entspricht einem Energiebedarf von rund  $76.900 \text{ MWh}_{\text{th}}$ , der durch Solarthermie gedeckt werden soll. Um dies zu erreichen, werden bei einem spezifischen Ertrag von  $400 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$  insgesamt rund  $192.300 \text{ m}^2$  an Kollektorfläche benötigt. Diese

Fläche wird im Rahmen des Energienutzungsplans gleichzeitig als technisches Potenzial der Solarthermie definiert. Derzeit sind im Betrachtungsgebiet bereits Solarthermieanlagen mit einer Gesamtfläche von rund 59.300 m<sup>2</sup> installiert, sodass noch ein Ausbaupotenzial von rund 133.000 m<sup>2</sup> besteht.

#### 4.4.1.3 Photovoltaik auf Dachflächen

Berücksichtigt man einen Vorrang von Solarthermie zur Warmwassererzeugung auf Wohngebäuden, so ergibt sich ausgehend von der Annahme, dass das verbleibende Potenzial voll ausgeschöpft wird, ein technisches Gesamtpotenzial von 1.377.000 MWh/a. Hierfür wurden nur die Flächen aus dem Solarpotenzialkataster berücksichtigt, die als „gut geeignete“ und „geeignete“ Flächen definiert sind. In Absprache mit den beteiligten Akteuren wurde ein Abzugsfaktor von 30 % gewählt, welcher potenzielle Hemmnisse in der praktischen Umsetzung (z. B. aus statischen Gründen) berücksichtigt. Somit steht ein Gesamtpotenzial in Höhe von 957.000 MWh Stromerzeugung pro Jahr zur Verfügung. Dies entspricht einer Gesamtleistung in Höhe von rund 1.061.000 kW<sub>p</sub>.

Im Bilanzjahr 2020 waren bereits Module mit einer Gesamtleistung von rund 202.000 kW<sub>p</sub> installiert, sodass unter den beschriebenen Annahmen noch ein theoretisches Ausbaupotenzial von rund 859.000 kW<sub>p</sub> besteht. Die Potenziale für Photovoltaik und Solarthermieanlagen sind in der nachfolgenden Tabelle 4 als Übersicht zusammengefasst.

**Tabelle 4: Potenzial erneuerbarer Energien aus Solarthermie und Photovoltaik**

<b>Solarthermie</b>		
Gesamtenergiebedarf TWW-Bereitung	MWh <sub>th</sub> /a	128.200
→ davon 60%	MWh <sub>th</sub> /a	76.900
→ notwendige Kollektorfläche	m <sup>2</sup>	192.300
→ bereits installiert	m <sup>2</sup>	59.300
→ bis 2030 neu installierbar	m <sup>2</sup>	133.000
<b>Ausbaupotenzial 2030 Solarthermie (TWW)</b>	MWh <sub>th</sub> /a	<b>53.200</b>
<b>Photovoltaik</b>		
Gesamtpotenzial aller Dachflächen	MWh <sub>el</sub> /a	957.000
(Statik und Denkmalschutz pauschal berücksichtigt)	kW <sub>p</sub>	1.061.000
→ bereits installiert	kW <sub>p</sub>	202.000
→ bis 2040 neu installierbar	kW <sub>p</sub>	859.000
→ bis 2040 neu installierbar	MWh <sub>el</sub> /a	764.000
<b>Annahme:</b>		
<b>Ausbaupotenzial Szenario 2040 (60% vom Gesamtpotenzial)</b>	MWh <sub>el</sub> /a	<b>574.000</b>

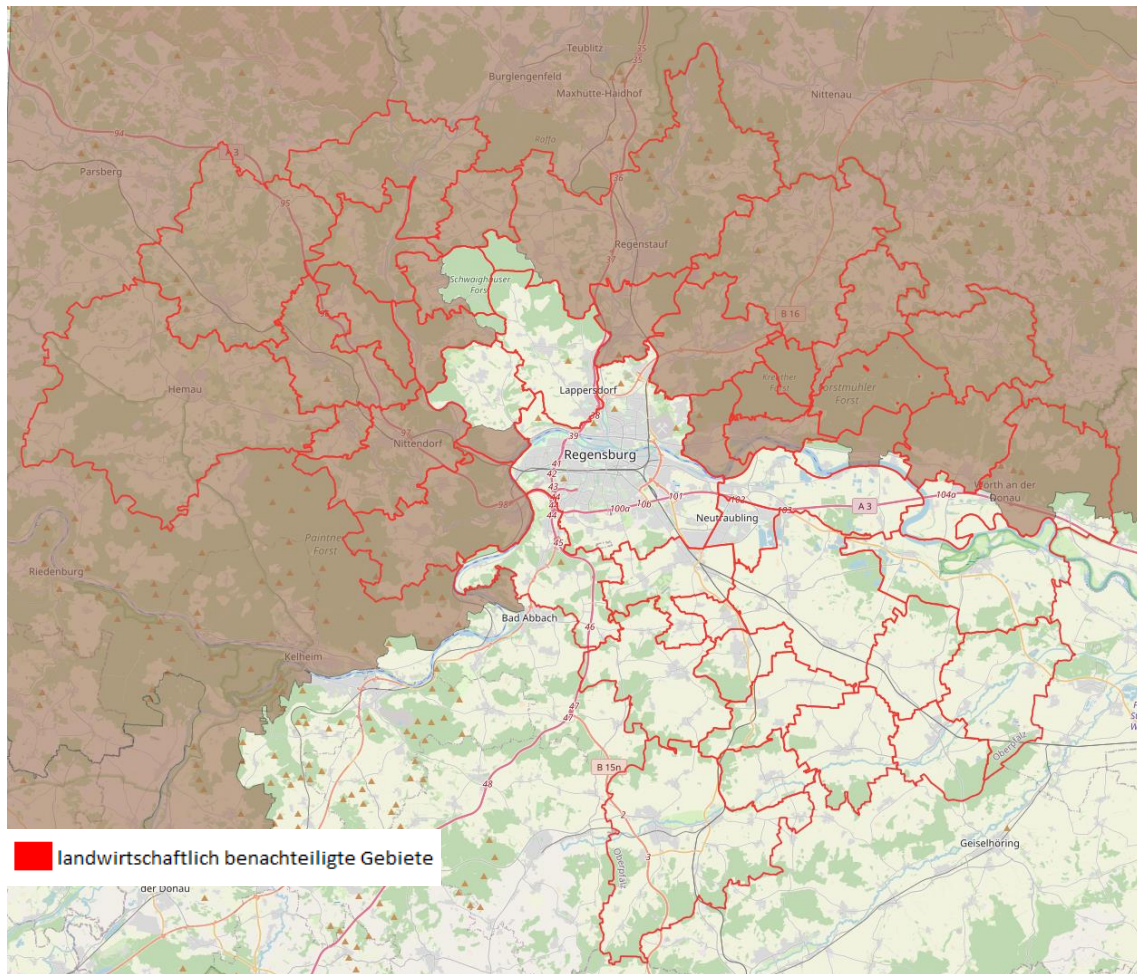
#### 4.4.1.4 Photovoltaik auf Freiflächen

Neben der Nutzung von geeigneten Dachflächen besteht auch noch die Möglichkeit Photovoltaik auf bestimmten Frei- oder Konversionsflächen zu installieren. Ähnlich wie bei Flachdächern kann hier die Ausrichtung der zu installierenden Anlage optimal gewählt werden. Im Bilanzjahr 2020 waren bereits Freiflächen-PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 56.430 kW<sub>p</sub> im Landkreis installiert, die rund 59.690 MWh an regenerativem Strom erzeugt haben.

Nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz ist die Installation von PV-Anlagen derzeit bevorzugt auf folgenden Flächen möglich:

- Seitenrandstreifen entlang von Autobahnen und Bahnlinien (200 m)
- Konversionsflächen
- Versiegelte Flächen
- Flächen der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben

In Bayern ergibt sich zudem eine Gebietskulisse, welche benachteiligte Gebiete im Sinne des EEG als potenzielle PV-Förderflächen anzeigt. In landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten sind PV-Freiflächenanlagen nach EEG zusammen mit der bayerischen Verordnung über Gebote für Photovoltaik-Freiflächenanlagen im Rahmen einer erfolgreichen Teilnahme an den EEG-Ausschreibungen der Bundesnetzagentur förderfähig. Große Teile des Landkreises Regensburg liegen in diesem landwirtschaftlich benachteiligten Gebiet, siehe Abbildung 28.



**Abbildung 28: Landwirtschaftlich benachteiligte Gebiete im Landkreis**

Durch die Anwendung einfacher und nachvollziehbarer Kriterien konnte eine Kartierung potenziell geeigneter Flächen im Landkreis ausgearbeitet werden. Nachfolgend sind die berücksichtigten Kriterien dargestellt:

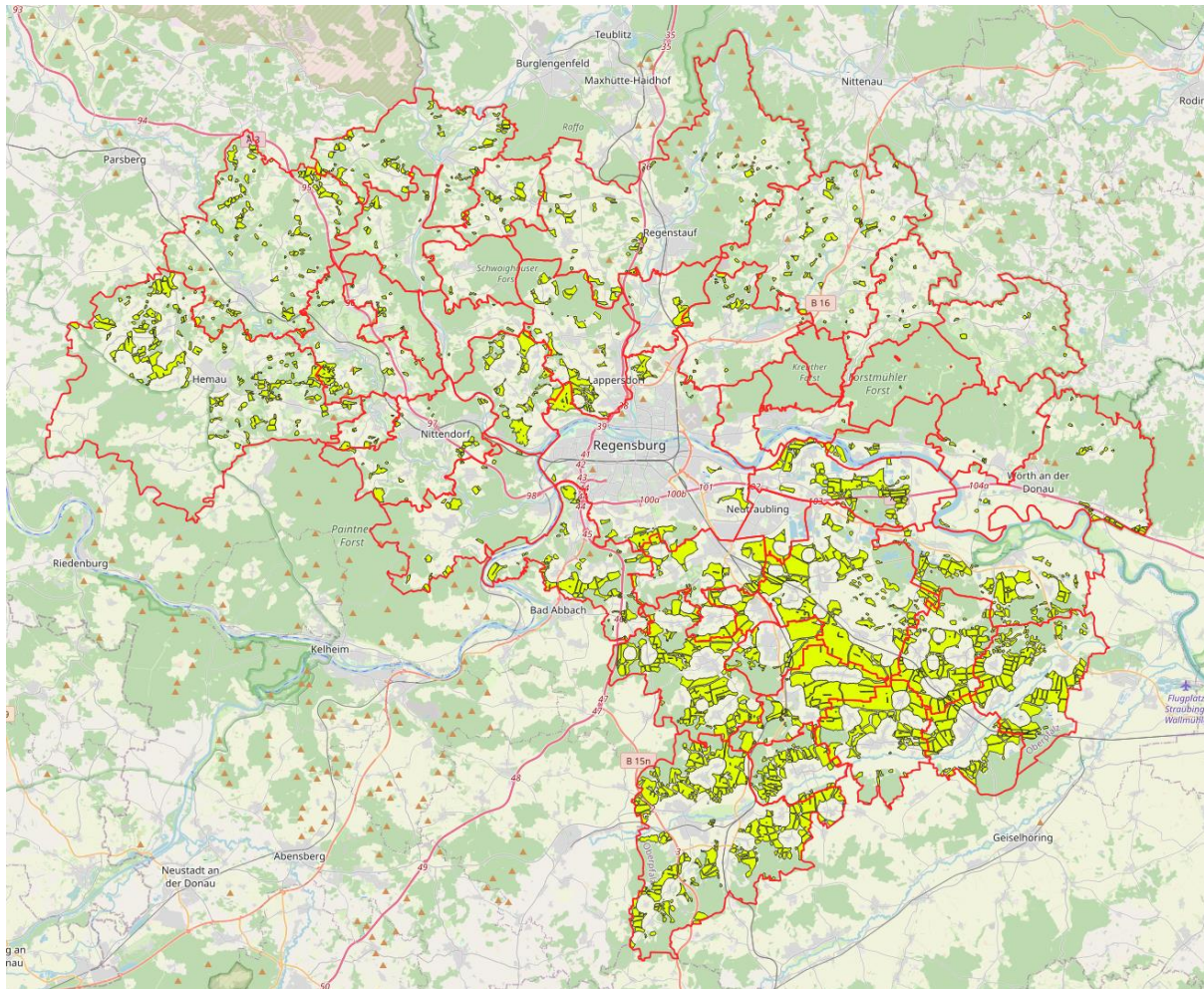
**Tabelle 5: Potenzialanalyse Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Kriterien**

Nicht geeignete Flächen für PV-Freiflächenanlagen	Mindestabstand
Siedlungsflächen (Maßgebend ist das letzte Wohnhaus einer Ortschaft, hierzu zählen auch Weiler und Einzelgehöfte)	300 m
Waldflächen und Gewässer	30 m
Straßenverkehrsflächen	40 m
Bahnstrecke	15 m
Ungünstige Vegetationsflächen (Sumpfbereich, Unland, Gehölz)	10 m
Natura 2000 (Vogelschutz-, FFH-Gebiete)	
Festgesetzte Überschwemmungsgebiete	
Rechtlich festgesetzte Ausgleichs- und Ersatzflächen (Ökoflächenkataster)	
Gesetzlich geschützte Biotop- und Bodenschutzobjekte	



Auf Basis der beschriebenen Ausschlusskriterien konnte eine Übersicht potenziell geeigneter Flächen im Gemeindegebiet ausgearbeitet werden.

*Hinweis: Gerade große PV-Freiflächenanlagen können auch außerhalb der EEG-Förderung errichtet und betrieben werden. Neben die bislang bekannten Vergütungsmodelle nach dem EEG werden beispielsweise Anlagen zur Direktbelieferung von Großabnehmern betrieben. Daher werden auch diese Flächen bei der Ermittlung des technischen Potenzials berücksichtigt.*



**Abbildung 29: Potenzialanalyse Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Übersichtskarte**

Die GIS-Analyse der zeigt hierbei in Summe eine potenzielle Fläche von 14.100 ha auf. Bei einem Flächenbedarf von rund  $12 \text{ m}^2/\text{kW}_p$  würde sich ein theoretisches Gesamtpotenzial von 11.784  $\text{MW}_p$  ergeben. Wird ein spezifischer Ertrag von ca.  $1.050 \text{ kWh}/\text{kW}_p$  angesetzt, beträgt die erzeugte Solarstrommenge etwa 12.373.000 MWh. Diese Flächen und Strommengen sind lediglich als technisches Potenzial zu verstehen. Aufgrund der Vielzahl an potenziellen Flächen wird empfohlen, kommunscharfe

Leitfäden / Kriterienkataloge zur Zulassung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen auszuarbeiten. Hierdurch kann eine transparente Entscheidungsgrundlage für die Öffentlichkeit, Grundeigentümer, sonstige eingebundene Akteure sowie die Antragsteller bzw. Betreiber von Photovoltaik-Freiflächenanlagen geschaffen werden. Durch die Anwendung einfacher und nachvollziehbarer Kriterien kann städtebaulicher Fehlentwicklung vorgebeugt und Wildwuchs in Form von zufallsgesteuerter Flächennutzung verhindert werden. Der Leitfaden zeigt potenzielle Flächen für die Installation von PV-Freiflächenanlagen im jeweiligen Gemeindegebiet auf, wodurch - unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit - die Belange der sauberen Energieerzeugung und des Klimaschutzes nachvollziehbar mit den Belangen der Nahrungsmittelerzeugung, des Landschaftsbildes und des Naturschutzes zusammengeführt werden. Darauf basierend können dann realistisch umsetzbare Ausbaupotenziale im Landkreis definiert werden.

Ein vollständiges Erschließen der technischen Potenziale ist insbesondere im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik nicht realistisch. Daher wird im in Kapitel 0 entwickelten Szenario ein realistisches Potenzial im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik von ca. 1 % der gesamten landwirtschaftlichen Fläche angesetzt. Dies entspricht einer jährlichen Stromerzeugung von rund 609.600 MWh/a auf einer Fläche von etwa 697 ha.

#### **4.4.2 Wasserkraft**

Im Landkreis Regensburg wurden im Jahr 2020 insgesamt 193.400 MWh Strom aus Wasserkraft erzeugt. Diese Stromerzeugung ist vor allem auf die Wasserkraftanlage „Geisling“ in der Gemeinde Pfatter zurückzuführen. Das Laufwasserkraftwerk an der Donau weist bei einer installierten Leistung von 25 MW<sub>el</sub> ein Regelarbeitsvermögen von 174.000 MWh/a auf.

Zur Analyse der Ausbaupotenziale im Bereich der Wasserkraft wurde ein Gespräch mit dem Wasserwirtschaftsamt Regensburg geführt und erörtert, ob Ausbau- oder Repowering-Potenziale im Landkreis vorhanden sind. Ein mögliches Potenzial ergibt sich beim Pielmühler Wehr im Gemeindegebiet Zeitlarn. Hier läuft zum Zeitpunkt der Konzepterstellung ein wasserrechtliches Verfahren. Eine Umsetzung des Projektes als auch mögliche Leistungsdaten sind ungewiss, weshalb im Rahmen der Studie kein Potenzial zum Neubau einer Wasserkraftanlage angesetzt wird.

Im Bereich der Effizienzsteigerung durch Modernisierung der Anlagen wird, ausgenommen der Wasserkraftanlage „Geisling“, ein Potenzial von bis zu 10 % prognostiziert. In Summe könnte die derzeitige Stromproduktion in Höhe von 193.400 MWh auf jährlich rund 195.400 MWh gesteigert werden.

### **4.4.3 Biomasse**

#### **4.4.3.1 Holz für energetische Nutzung**

##### **Energieholz aus der Forstwirtschaft**

Der Landkreis Regensburg weist eine Waldfläche von rund 43.517 ha auf [Statistik kommunal]. Zur Analyse der Potenziale für die energetische Holznutzung wurden Gespräche mit dem AELF geführt.

Bei der Ermittlung des maximal zur Verfügung stehenden Potenzials an Energie aus Holz wird von einem durchschnittlichen Holzzuwachs von im Mittel 9,4 Festmetern je Hektar und Jahr ausgegangen. Der jährlich, maximal nutzbare Zuwachs an Holz im Betrachtungsgebiet kann somit bei einem durchschnittlichen Energieertrag von 2.070 kWh/(fm\*a) mit rund 909.300 MWh<sub>Hi</sub> pro Jahr prognostiziert werden.

Bei dem zur Verfügung stehenden Potenzial an Holz steht der Anteil, welcher energetisch genutzt werden kann in Konkurrenz mit der stofflichen Verwertung (grundsätzlich immer zu bevorzugen). Daher kann nicht der gesamte Holznachwuchs für die Energiebereitstellung eingesetzt werden. Das technisch und nachhaltig nutzbare Gesamtpotenzial für die energetische Nutzung (Holzbrennstoffeinsatz) beläuft sich nach Abstimmung mit dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Regensburg-Schwandorf in etwa auf 30 % des regenerativen Zuwachses (rund 272.800 MWh<sub>Hi</sub>/a).

Grundsätzlich sollten Potenziale zur energetischen Nutzung von Waldholz nicht zu hoch angesetzt werden, da sich die Wälder aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels bereits in Teilen in einer schwierigen Situation befinden (Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, Wasserhaushalt, Schädlingsbefall etc.). Eine nachhaltige Nutzung für eine dauerhafte wirtschaftliche Nutzung im Einklang mit den vielfältigen ökologischen Funktionen sind in jedem Fall zu beachten.

##### **Landschaftspflegeholz (Flur- und Siedlungsholz)**

Landschaftspflegeholz (Holz aus öffentlichem und privatem Baum-, Strauch- und Heckenschnitt) unterliegt keiner sonstigen Nutzung und steht somit - theoretisch - komplett zur Verfügung. Unter der Annahme eines jährlichen Anfalls an Landschaftspflegeholz von rund 224 kg pro Einwohner sowie eines pauschalen Nutzungsanteils in Höhe von ca. 60% steht bei einem Energiegehalt von 2.200 kWh/t ein Potenzial von rund 57.400 MWh<sub>Hi</sub> pro Jahr zur energetischen Nutzung zur Verfügung [AbfaBa].

##### **Altholz**

Eine Sonderstellung kommt dem Altholz zu. Pro Einwohner und Jahr fallen laut Abfallbilanz [AbfaBa] im Betrachtungsgebiet 10,8 kg Altholz an. Unter Berücksichtigung der Einwohnerzahl sowie eines pauschalen Nutzungsanteils in Höhe von ebenfalls ca. 60 % steht dadurch bei einem Energiegehalt von

4.000 kWh/t eine Energiemenge von rund 5.000 MWh<sub>Hi</sub>/a zur energetischen Nutzung zur Verfügung ([Stat Kom], [AbfaBa]).

### Zusammenfassung feste Biomasse

In Tabelle 6 ist das technische Potenzial zur Energiebereitstellung aus holzartiger Biomasse zusammenfassend aufgelistet. In Summe beträgt das nutzbare Gesamtpotenzial an fester Biomasse für den Landkreis rund 335.200 MWh<sub>Hi</sub>/a.

**Tabelle 6: Zusammenfassung des Gesamtpotenzials im Bereich feste Biomasse (Wärme)**

Energiebereitstellung		
Nachwuchs auf gesamter Waldfläche	MWh/a	909.300
davon als Brennholz nutzbar (rund 30%)	MWh/a	272.800
<u>zusätzlich:</u>		
Landschaftspflegeholz (60%)	MWh/a	57.400
Altholz (60%)	MWh/a	5.000
<b>Summe nutzbares Gesamtpotenzial</b>	<b>MWh/a</b>	<b>335.200</b>

Im Bilanzjahr 2020 beläuft sich der Endenergieeinsatz an fester Biomasse bereits auf ca. 498.800 MWh<sub>Hi</sub>/a. Aus den Betrachtungen ergibt sich daher kein weiteres nachhaltiges Ausbaupotenzial. Nachhaltig in diesem Sinne bedeutet, dass die Holzeinschlagrate nicht die Holznachwuchsrate übersteigt und eine Konkurrenzsituation sowohl hinsichtlich der ökologischen Funktionen als auch der stofflichen Nutzung vermieden wird.

Würde man im Landkreis Regensburg rein nach dem Territorialprinzip bilanzieren und nur das nachwachsende Holz in den eigenen Wäldern (rund 9,4 Festmeter pro Hektar und Jahr) als Potenzial ansetzen, so wären die Potenziale bereits erschöpft. In der Realität wird das benötigte Holz, insbesondere das Holz für die Großindustrie, aber zum großen Teil von außerhalb des Landkreises bezogen.

Nach Abstimmung mit den Fachexperten zeigen sich in der Praxis noch nutzbare Potenziale im Landkreis, insbesondere minderwertige Holzreststoffe und Potenziale in den Privatwäldern. Dies ist vor allem auf einen hohen Holzvorrat in den Wäldern zurückzuführen. Holz als alleinige Energiequelle zur mittel- und langfristigen Substitution von Öl und Erdgas wird aber nicht ausreichen. Es sollten kluge Strategien umgesetzt werden, z. B. der Aufbau kleinerer Wärmeverbundlösungen in Ortsteilen mit

Holz als Bestandteil einer gesamten Versorgungsstrategie (z. B. Zusammenspiel aus Biomassekessel, Wärmepumpe, Photovoltaik).

➔ In der Realität zeigen sich noch Holzpotenziale in den eigenen Wäldern. Wichtig ist die Wertschätzung des regenerativen Brennstoffs und der kluge Einsatz in sinnvollen Versorgungssystemen

#### 4.4.3.2 Biogas

Im Ist-Zustand erzeugen die bestehenden Biogasanlagen im Landkreis rund 27.200 MWh Strom pro Jahr. Nachfolgend ist eine Übersicht der bestehenden Biogasanlagen im Landkreis dargestellt. Daneben wird von der REGAS GmbH und Co. KG im Gemeindegebiet Kallmünz eine Biomethananlage betrieben, welche Biogas zu Biomethan aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist, anstatt direkt vor Ort mittels Kraft-Wärme-Kopplung zu Strom und Wärme zu verwerten. Die Biogaseinspeisung beläuft sich auf ca. 56.000 MWh/a, was einer möglichen Stromerzeugung von ca. 22.000 MWh/a entspricht. Bilanzuell wird das eingespeiste Biomethan im Landkreis ausschließlich in einer KWK-Anlage mit einer Stromerzeugung von 1.900 MWh pro verwertet. Die restlichen Mengen werden dementsprechend außerhalb des Landkreises genutzt.

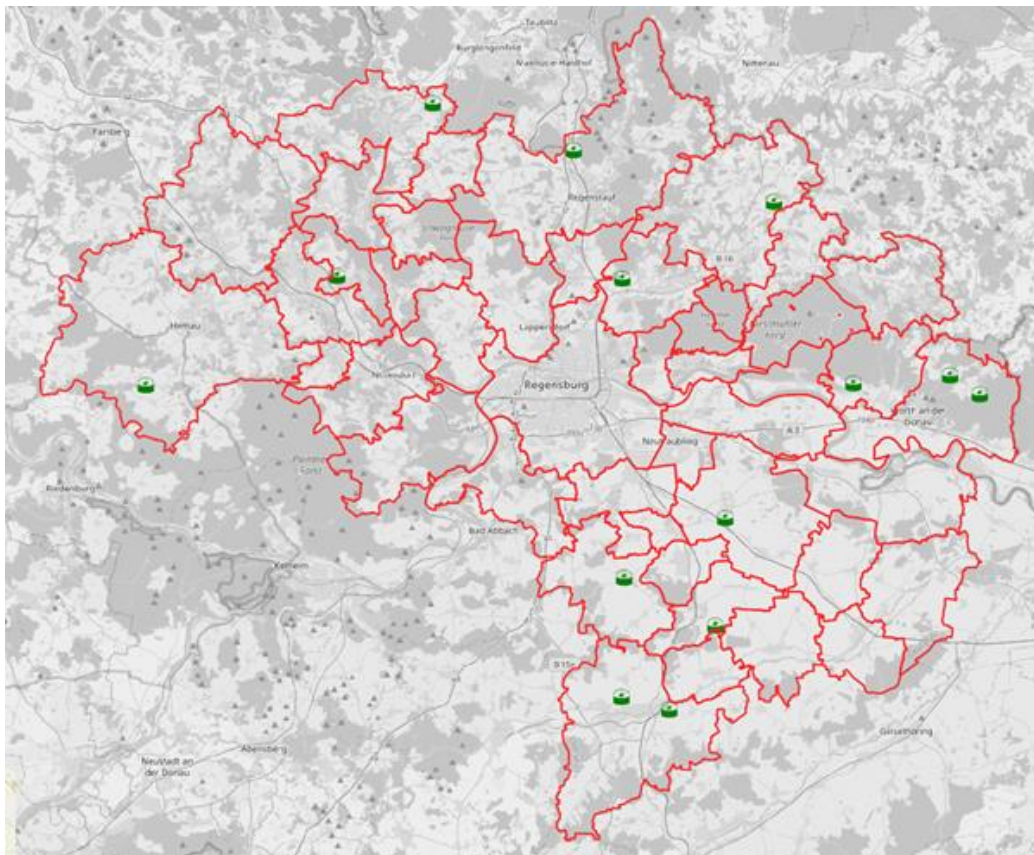


Abbildung 30: Übersicht bestehender Biogasanlagen im Landkreis Regensburg

In Bayern ist allgemein festzustellen, dass bestehenden Biogasanlagen Perspektiven geboten werden müssen, um weiter kostendeckend betrieben werden zu können. Der Weiterbetrieb ist im Kontext des erneuerbaren Energiemix von großer Bedeutung, da sie – anders als die viel diskutierte Energieform Sonne und Wind – keiner Volatilität unterliegen, sondern jederzeit bedarfsgerecht gesteuert werden können. Mit dem Wegfallen von zentralen Großkraftwerken (Atom- und Kohlekraftwerke) sind dezentrale, grundlastfähige Kraftwerke auf regenerativer Basis Biomasse, KWK-Anlagen und – mit Abstrichen – Wasserkraft von großer Bedeutung für die Stabilität des zukünftigen Energiesystems.

### **Biogas aus Energiepflanzen**

Für die Abstimmung potenzieller Ausbaupotenziale wurde das AELF Regensburg-Schwandorf kontaktiert. Unter der Annahme, dass 6.967 ha bzw. 10 % aller landwirtschaftlichen Nutzflächen zum Anbau von Energiepflanzen herangezogen werden, ergibt sich bei einem Biogasertrag von ca. 6.636 m<sup>3</sup>/ha [FNR, eigene Berechnung] und einem Heizwert von 5,4 kWh/m<sup>3</sup> [FNR] ein Gesamtpotenzial zum Betrieb von Biogasanlagen mit einer jährlichen Stromerzeugung von ca. 99.900 MWh.

### **Landwirtschaftliche Reststoffe**

Zu den wichtigsten landwirtschaftlichen Reststoffen zählen Gülle, Jauche und Festmist. Über die Anzahl der im Landkreis gehaltenen Großvieheinheiten lässt sich das Aufkommen an Gülle abschätzen und das enthaltene energetische Potenzial ableiten. Das Landesamt für Statistik gibt Auskunft über die aktuell gemeldeten Viehbestände in den Kommunen. Aus den Beständen im Landkreis lässt sich eine Anzahl von rund 34.000 Großvieheinheiten ableiten. Der Fachverband Biogas gibt an, dass in Deutschland aktuell rund ein Viertel der anfallenden tierischen Exkrememente als Substrat in Biogasanlagen vergoren werden.

Insgesamt ist der Neubau von Biogasanlagen in Deutschland nahezu zum Erliegen gekommen. Die mit dem EEG 2017 eingeführte Sondervergütungsklasse für Güllevergärung, und die damit einhergehenden Anforderungen, führte zuletzt dazu, dass Neuanlagen in den meisten Fällen in eher kleinem Maßstab (bis 75 kW<sub>el</sub> Bemessungsleistung) und mit hohem Gülleanteil am eingesetzten Substrat (mindestens 80%) errichtet wurden.

Sofern sich an den vorherrschenden vor allem rechtlichen Rahmenbedingungen keine deutlichen Verbesserungen für Biogasanlagen ergeben, so kann davon ausgegangen werden, dass der in Biogasanlagen genutzte Anteil der anfallenden Gülle kaum signifikant steigen wird.

Für das in Kapitel 5 beschriebene Entwicklungsszenario wird von einem Anteil von 50% für die energetischer Nutzung am Gülleaufkommen kalkuliert.

### Bioabfälle

Bioabfälle die über die Biotonne erfasst werden sind als Substrat geeignet und können theoretisch vollständig für eine energetische Nutzung in Biogasanlagen herangezogen werden. Dem Fachverband Biogas nach landet der Großteil der biologischen Abfälle in der Praxis auch üblicherweise in Biogasanlagen. Das LfU dokumentiert das Aufkommen an Bioabfällen und weist diese Werte in der Abfallbilanz aus. So fielen im Landkreis Regensburg 2020 pro Einwohner 6,9 kg Bioabfälle an, die in die Kalkulation des energetischen Gesamtpotenzials aufgenommen werden.

### Zusammenfassung

Unter den zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen setzt sich das Gesamtpotenzial von Strom und Wärme aus Energiepflanzen, Gülle und Bioabfall in Biogasanlagen wie folgt zusammen.

**Tabelle 7: Zusammenfassung des rechnerischen Gesamtpotenzials im Bereich Biogas**

<b>Potenzial an Biogas</b>		
<b>Energieträger</b>		
Energiepflanzen	MWh/a	249.700
Gülle	MWh/a	38.300
Bioabfall	MWh/a	800
<b>→ Potenzial Biogasanlage/n gesamt</b>	<b>kW<sub>el</sub></b>	<b>16.500</b>
<b>→ Stromproduktion gesamt</b>	<b>MWh/a</b>	<b>115.500</b>
<b>→ Wärmeproduktion gesamt</b>	<b>MWh/a</b>	<b>124.200</b>

Das Gesamtpotenzial zur Stromerzeugung beläuft sich auf rund 115.500 MWh/a. Dementsprechend steht unter Berücksichtigung der Biomethan-Einspeiseanlage Kallmünz noch ein freies Potenzial von 66.300 MWh/a zur Verfügung. Aufgrund der politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen findet allerdings aktuell kein Ausbau statt.

Im Bereich der Abwärmenutzung aus Biogasanlagen werden noch deutliche Ausbaupotenziale gesehen. Auf Basis der vorhandenen Datenerhebungsbögen der Biogasanlagen und weiteren Informationen aus den Regionalkonferenzen in den Kommunen konnte die aktuelle Wärmenutzung aus Biogasanlagen in Höhe von rund 13.000 MWh berechnet werden. Das technische Gesamtpotenzial wird auf

rund 124.200 MWh Wärmenutzung prognostiziert. Werden bei der nutzbaren Wärme aus Biogas 40 % der aus dem BHKW anfallenden Abwärme für die Fermenterbeheizung sowie 15% Wärmenetzverluste berücksichtigt, ergibt sich ein nutzbares Potenzial von ca. 55.400 MWh/a, welche somit für eine Fernwärmenutzung zur Verfügung stehen.

Die Auswertung des energetischen Ist-Zustands hat gezeigt, dass aktuell eher wenig Biogasleistung im Landkreis installiert ist. Nach dem Territorialprinzip analysiert, ist landkreisübergreifend ein Ausbaupotenzial vorhanden. Anzumerken ist dabei, dass ein Teil des rechnerisch zur Verfügung stehenden Potenzials darüber hinaus bereits außerhalb des Bilanzraums, sprich außerhalb der Landkreisgemeinden genutzt wird. Die Nachbarlandkreise Neumarkt, Schwandorf und Cham weisen eine deutlich höhere Anzahl und Dichte von Biogasanlagen auf und beziehen Substrat auch aus dem Landkreis Regensburg.

#### **4.4.4 Windkraft**

Im Jahr 2020 sind elf Groß-Windkraftanlagen im Landkreis Regensburg installiert, die rund 49.900 MWh an Strom produziert haben. Hierbei wurden nur die Windkraftanlagen mit Standort in einer der Landkreiskommunen berücksichtigt (entscheidend ist hierbei der Standort der Anlage, nicht der Netzeinspeisepunkt).

Für die Potenzialbetrachtung im Bereich Windkraft wurde eine Flächenanalyse durchgeführt, bei der potenzielle Windkraftstandorte hinsichtlich der Windhöffigkeit und der Standorteignung nach Art. 82 der Bayerischen Bauordnung berücksichtigt wurden. Dem Kabinettsbeschluss vom 28.06.2022 zufolge sollen Ausnahmen von der 10H-Regel in folgenden Fallgruppen gelten:

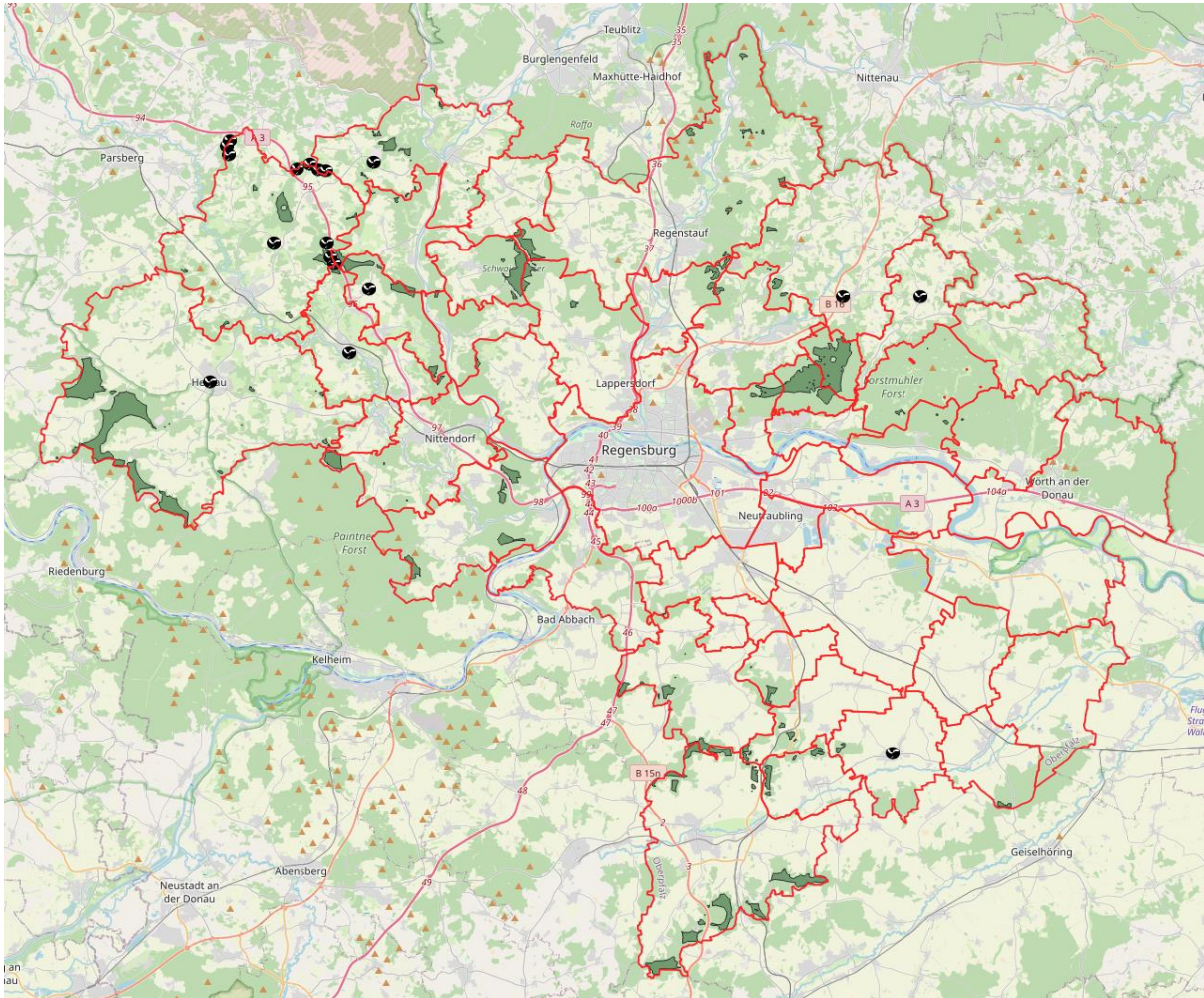
- Vorrang und Vorbehaltsgebiete, die in Raumordnungsplan für Windkraft definiert sind
- Gewerbegebiete: Errichtung der Anlagen in einem Abstand von bis zu 2.000 m; Strom muss überwiegen zur Deckung des anfallenden Bedarfs genutzt werden
- Vorbelastete Gebiete (Autobahn, Bahnstrecke): Aufbau in einem Korridor von 500 m zzgl. Mindestabstände
- Militärische Übungsgelände
- Repowering: Austausch bestehender Windenergieanlagen
- Wälder: Mitte des Mastfußes zum Waldrand mindestens Radius des Rotors

Hier gilt ein grundsätzlicher Mindestabstand von 1.000 m zu Wohnbebauung, sofern die Wohnbebauung nicht nur ausnahmsweise baurechtlich zulässig ist.



Als Kriterium für eine ausreichende Windhöffigkeit wurde ein Mittelwert der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von 5 m/s in einer Höhe von 120 m über Grund angesetzt. Als Datengrundlage wurde auf Kartenmaterial des Bayerischen Landesamts für Umwelt zurückgegriffen.

In Abbildung 31 sind die demzufolge potenziell geeigneten Flächen dargestellt:



**Abbildung 31: Potenzialanalyse Windkraft [IfE]**

*Hinweis: Die Flächenanalyse Windkraft bietet eine Erstbewertung windhöffiger Gebiete hinsichtlich ihrer Eignung als Potenzialflächen zur Windenergienutzung. Sie ersetzt nicht die immissionsschutzrechtliche Genehmigung. Ein Rechtsanspruch (etwa auf eine Genehmigung) lässt sich daraus nicht ableiten. Die sog. „10H-Regelung“, die kommunale Planungshoheit und die der Planungsverbände bleiben davon unberührt.*

Im Rahmen des Energienutzungsplans wird als Szenario bis zum Jahr 2040 der Betrieb von 51 Windkraftanlagen der 5 MW-Klasse mit einer Gesamtstromproduktion in Höhe von 459.000 MWh pro Jahr angesetzt. Im Ist-Zustand sind bereits elf Groß-Windkraftanlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von rund 2,7 MW und einer Jahresproduktion von ca. 49.900 MWh installiert. Der Ausbau kann somit zum einen durch Repowering der Bestandsanlagen und zum anderen durch die Nutzung zusätzlicher geeigneter Standorte erreicht werden. Das dargestellte Szenario im Energienutzungsplan dient der Veranschaulichung der notwendigen Schritte zur Erreichung der bayerischen Klimaziele auf Landkreisebene.

Zum Zeitpunkt der Projekterstellung wird die Ausweisung potenzieller Flächen durch den regionalen Planungsverband geprüft. Diese beruht auf den verbindlichen Flächenvorgaben der einzelnen Bundesländer. Der Flächenanteil des Landkreis Regensburg und mögliche Windkraftstandorte lassen sich zum Zeitpunkt der Konzepterstellung nicht ableiten. Es wird den Kommunen die Festlegung von bevorzugten Flächen für Windkraft in enger Abstimmung mit den Planungsverband und auf Basis dieser GIS-Analyse empfohlen. Darauf basierend können dann realistisch umsetzbare Ausbaupotenziale im Landkreis definiert werden.

*Hinweis: Das Potenzial zur Nutzung von Kleinwindkraft weist eine hohe lokale Varianz auf und ist nur bedingt durch flächendeckende Analysen zu ermitteln. Grundsätzlich ist die Eignung eines Standortes durch eine mehrmonatige Windmessung vor Ort zu prüfen.*

#### **4.4.5 Kraft-Wärme-Kopplung**

Der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als Brückentechnologie stellt einen wichtigen Baustein für die Energiewende dar. KWK-Anlagen wandeln den eingesetzten Brennstoff (meist Erdgas) mit bis zu 90% in nutzbare Wärme und Strom um. Auf diese Weise tragen sie zu einer ressourcenschonenderen Energieversorgung bei. Mittelfristig soll der Einsatz von Wasserstoff und/oder synthetischer Kraftstoffe zu neuen Einsatzgebieten in der Kraft-Wärme-Kopplung führen. Der weitere Ausbau könnte z.B. über Informationskampagnen forciert werden (insbesondere in Industriebetrieben mit gleichzeitig hohem Wärme- und Strombedarf). Eine Quantifizierung des Potenzials ist im Rahmen des Energienutzungsplans nicht möglich.

#### 4.4.6 Geothermie

Die Geothermie oder Erdwärme ist die im derzeit zugänglichen Teil der Erdkruste gespeicherte Wärme. Sie umfasst die in der Erde gespeicherte Energie, soweit sie entzogen werden kann. Sie kann sowohl direkt genutzt werden, etwa zum Heizen und Kühlen, als auch zur Erzeugung von elektrischem Strom.

Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Geothermienutzung:

- oberflächennahe Geothermie bis ca. 400 Meter Tiefe zur Wärme- und Kältengewinnung
- tiefe Geothermie ab 400 Meter Tiefe. In diesen Tiefen kann neben der Wärmeproduktion auch die Produktion von Strom interessant sein

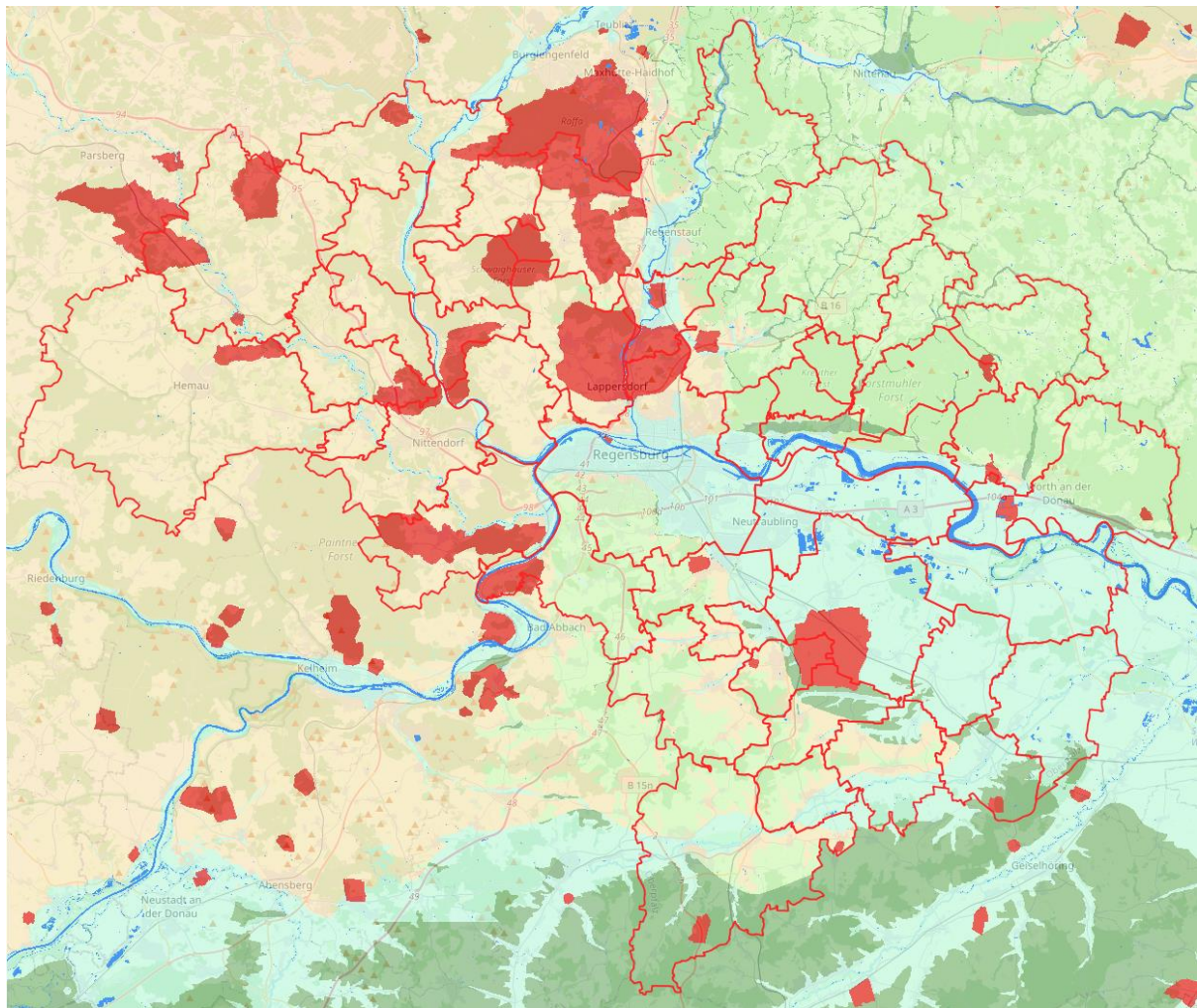
Die Tiefengeothermie nutzt Erdwärme auf hohem Temperaturniveau in Tiefen ab 400m. Aufgrund der Komplexität der Thematik wurden nähere Betrachtungen sowie eine Quantifizierung des Potenzials im Rahmen des Energienutzungsplans nicht vorgenommen.

##### **Potenzialermittlung Oberflächennahe Geothermie**

Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Nutzung der Erdwärme in bis zu 400m Tiefe. Durch Sonden oder Erdwärmekollektoren wird dem Erdreich Wärme auf niedrigem Temperaturniveau entzogen und diese Wärme mithilfe von Wärmepumpen und dem Einsatz elektrischer Energie auf eine für die Beheizung von Gebäuden nutzbare Temperatur angehoben.

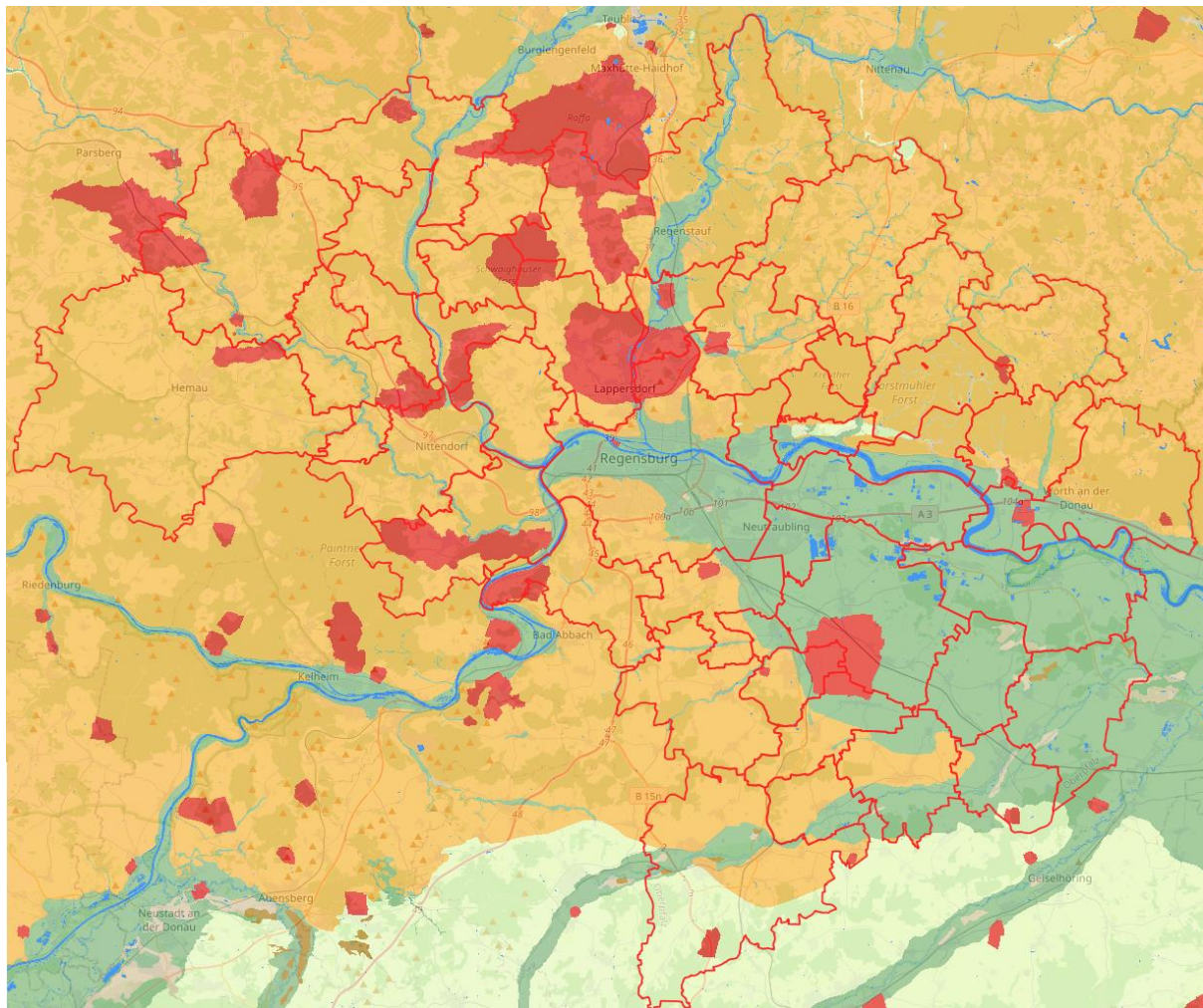
Zur Ermittlung der Potenziale oberflächennaher Geothermie wurde auf hydrogeologische Daten des Geologischen Dienstes des Landesamtes für Umwelt zurückgegriffen. In Abbildung 32 und Abbildung 33 ist die Standorteignung oberflächennaher Geothermie bzw. die Möglichkeit zur Nutzung des anstehenden Grundwassers im Landkreis dargestellt. Es zeigt sich, dass viele Gebiete im Landkreis für die Nutzung von Erdwärmesonden nicht geeignet erscheinen. Nichtsdestotrotz ergeben sich im östlichen Landkreis Potenziale zur Grundwassernutzung und ein großer Teil des Landkreisgebiets ist grundsätzlich für die Nutzung oberflächennaher Geothermie in Form von Erdwärmekollektoren geeignet.

Neben der hydrologischen Eignung und den bohrrechtlichen Rahmenbedingungen sind jedoch der energetische Zustand des Gebäudes sowie das im Gebäude zum Einsatz kommende Wärmeabgabesystem ausschlaggebend für die Nutzung oberflächennaher Geothermie. Auf die Ausweisung bzw. Quantifizierung eines Gesamtausbaupotenzials für die Kommunen wurde verzichtet, da für den Einsatz oberflächennaher Geothermie immer eine Einzelfallprüfung auf Basis der tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort notwendig ist.



- Erdwärmekollektoren, -sonden und Grundwasserwärmepumpen
- Erdwärmekollektoren und -sonden
- Erdwärmekollektoren und Grundwasserwärmepumpen
- Erdwärmekollektoren
- nicht möglich (Wasserschutzgebiet)
- nicht möglich (Gewässer)

**Abbildung 32: Standorteignung oberflächennaher Geothermieanlagen (Erdsonden und Erdkollektoren) [Energieatlas Bayern, eigene Bearbeitung]**



- Der Bau einer Grundwasserwärmepumpenanlage ist
- möglich
  - möglich (bedarf aber einer Einzelfallprüfung durch die Fachbehörde)
  - möglich (Moorgebiet - bedarf einer Einzelfallprüfung)
  - nicht möglich (Moorgebiet)
  - nicht möglich (hydrogeologisch und geologisch oder wasserwirtschaftlich kritisch)
  - nicht möglich (Wasserschutzgebiet)
  - nicht möglich (Gewässer)

**Abbildung 33: Standorteignung bzw. Nutzungsmöglichkeiten von Grundwasserwärmepumpenanlagen [Energieatlas Bayern, eigene Bearbeitung]**

### Umweltwärme (Luft)

Generell ist der Einsatz von Luft-/Wasser- oder Luft-/Luft-Wärmepumpen an nahezu jedem Standort technisch möglich, einzig regulatorische Vorgaben zu Lärmemissionen sind oftmals relevante Einflussgrößen. Jedoch ist der effiziente Einsatz von Wärmepumpen, welche auf die Umgebungsluft als Wärmequelle zurückgreifen, besonders stark vom energetischen Zustand sowie den ggf. damit

verbundenen, vorzuhaltenden Temperaturniveaus im Wärmeverteilsystem der zu beheizenden Liegenschaft abhängig.

### Potenzialabschätzung

Der Einsatz von Wärmepumpen kann künftig einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten, wenn der für den Betrieb der Wärmepumpen notwendige Stromeinsatz aus regenerativen Energieformen erfolgt. Aus diesem Grund ist der weitere Ausbau der regenerativen Stromerzeugung wichtig, um diese Stromüberschüsse durch den Einsatz von Wärmepumpen regional nutzen zu können und den Bedarf an fossilen Energieträgern zu mindern (Sektorenkopplung) und das vorhandene Potenzial aus Biomasse für ausgesuchte, effiziente Versorgungslösungen vorzuhalten (Energie-mix; Übernutzung vermeiden). Der weitere Ausbau von Wärmepumpensystemen könnte z. B. über Informationskampagnen v. a. im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Gebäudesanierung forciert werden.

In den Kalkulationen wird daher davon ausgegangen, dass neu zu installierende Wärmepumpenaggregate in (teil-)sanierte Liegenschaften, die eine energieeffiziente Betriebsweise ermöglichen, eingebaut und betrieben werden.

Unter der Annahme, dass sich die Verteilung der künftig zum Einsatz kommenden Wärmepumpenaggregate in Anlehnung an die Angaben der BWP / BDH-Absatzstatistik für das Jahr 2021 folgendermaßen ergeben:

**Tabelle 8: Künftige Verteilung der Wärmepumpen anhand eingesetzter Umweltwärmequellen [BWP/BDH]**

Wärmepumpenaggregat	Anteil
Sole-/Wasser-Wärmepumpen (Erdsonden, Erdkollektoren)	15%
Grundwasserwärmepumpen	3%
Luft-/Wasser-Wärmepumpen	82%

Werden für die einzelnen Aggregate nun mittlere Anlagennutzungsgrade (bei Wärmepumpen die sog. Jahre-Arbeits-Zahl; JAZ) hinterlegt, kann auf die zur Verfügung gestellte Jahresnutzwärme sowie die zum Betrieb nötige elektrische Energie (Endenergie) zurückgeschlossen werden.

Für die bereits in Betrieb befindlichen Wärmepumpenanlagen kann auf Basis einer mittleren Jahresarbeitszahl von ca. 2,5 und einem Endenergiebedarf von 40.600 MWh<sub>el</sub>/a eine bis dato zur Verfügung stehende Nutzwärmemenge von ca. 101.500 MWh<sub>th</sub>/a ausgewiesen werden.

Wird nun für neu zu installierende Wärmepumpenanlagen eine mittlere, gesteigerte JAZ von 3,0 sowie ein Gesamtpotenzial von rund 36.500 Anlagen bis 2040 zugrunde gelegt, ergibt sich eine Jahresnutzwärmemenge in Höhe von ca 851.400 MWh<sub>th</sub>. Der dafür notwendige Endenergiebedarf beläuft sich auf rund 283.800 MWh<sub>el</sub> (Heizstrom).

Unter der Annahme, dass die neu verbauten Wärmepumpen grundsätzlich Anlagen, welche auf Heizöl (2/3) und Erdgas (1/3) basieren, ersetzen, ist davon auszugehen, dass anhand des bereitgestellten Nutzwärmebedarfs insgesamt rund 946.100 MWh<sub>End</sub> fossiler Endenergie eingespart werden können.

### Sonderbauformen

Sonderbauformen wie z. B. Luft-/Luft-Wärmepumpen, Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen werden an dieser Stelle aufgrund der bisher zu vernachlässigenden Anteile bzw. des eingesetzten Energieträgers Erd- oder Flüssiggas nicht näher betrachtet.

Eine weitere Sonderbauform stellt die sog. Brauchwasserwärmepumpe dar (strombetrieben). Diese hat in den vergangenen Jahren vor allem durch die mögliche Kombination mit einer bestehenden PV-Anlage und einem Haupt-Wärmeerzeuger deutlichen Zuspruch erhalten. Aufgrund des jedoch nach wie vor geringen Anteils installierter Geräte sowie dem Sachverhalt zur Installation von Solarthermieanlagen wird das Potenzial dieser Anlagen nicht näher erläutert. Es wird davon ausgegangen, dass die (teilweise) Warmwasserbereitung im Idealfall direkt aus der Nutzung der solaren Strahlungsenergie mittels solarthermischer Anlagen erfolgt.

### Abwärme aus Gewerbe und Industrie

Die in den Datenerhebungsbögen der Industrie- und Gewerbebetriebe sowie der vorhandenen Biogasanlagen abgefragten Informationen haben ergeben, dass die Nutzung von Abwärme zwischenzeitlich vor allem zur betriebsinternen Weiterverwendung genutzt wird (z. B. Effizienzsteigerung mittels Wärmepumpenanlagen). Darüber hinaus konnten bei einzelnen Betrieben weitere zur Verfügung stehende Abwärmepotenziale identifiziert werden, welches aus Datenschutzgründen nicht im Detail ausgeführt werden können.

## 5 Entwicklungsszenarien

Basierend auf der Analyse der energetischen Ausgangssituation (siehe Kapitel 3) und der Potenzialanalysen (siehe Kapitel 4) wurden strategische Szenarien erarbeitet, aus denen Handlungsoptionen und der Entwicklungspfad zur Senkung des Energieverbrauchs und für den Ausbau erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2040 abgeleitet werden können. Bezugsjahr für die Szenarien ist das Jahr 2020. Die Szenarien stellen zugleich die Zusammenfassung der Ergebnisse aus den vorangegangenen Kapiteln dar.

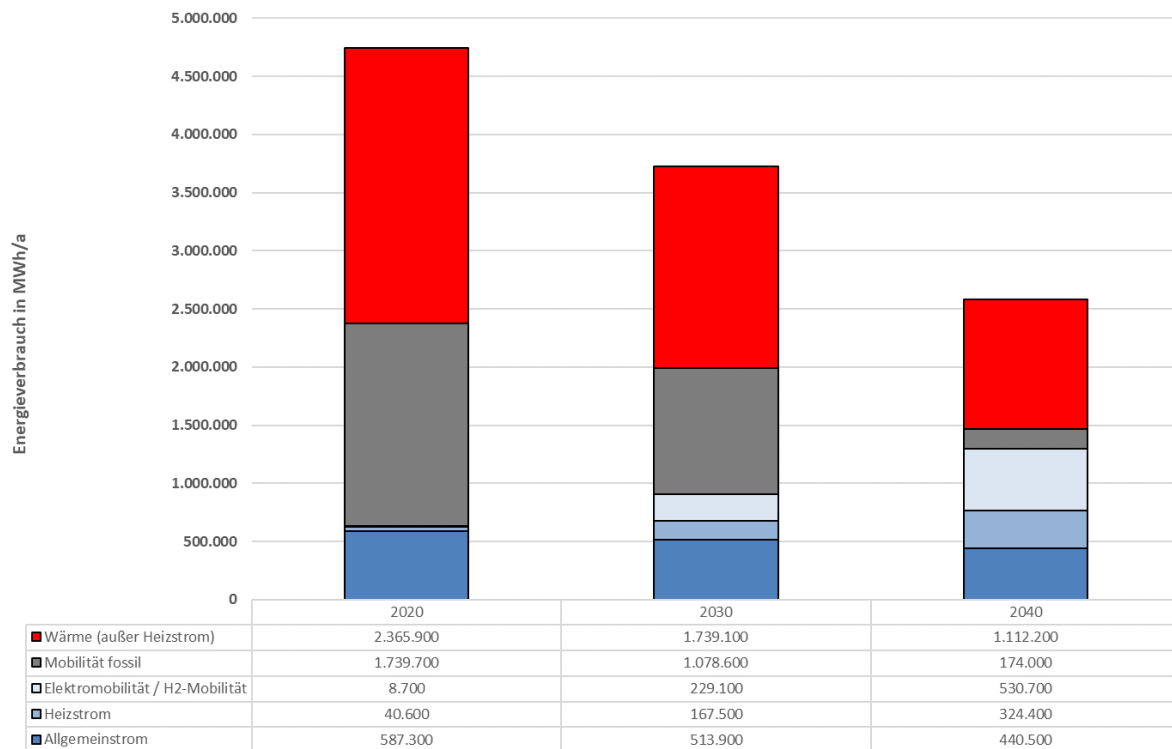
Dazu wird zunächst jeweils separat die Entwicklung der Bedarfs-Seite und anschließend der Erzeuger-Seite betrachtet. Im darauffolgenden Schritt wird dies zusammengeführt ein vergleichender Blick auf die Zusammensetzung von Bedarf und Erzeugung im Ziel-Jahr 2040 geworfen.

### 5.1 Energiebedarf

Abbildung 34 zeigt die Entwicklung des Energiebedarfs ausgehend vom Ist-Zustand im Jahr 2020, über das Jahr 2030 bis hin zum gesetzten zeitlichen Horizont 2040. Dabei wird der Energiebedarf aller Sektoren Strom, Wärme und Verkehr skizziert. Hinsichtlich der elektrischen und thermischen Energieeinsparung in den Verbrauchergruppen Haushalte, Kommunale Liegenschaften und Wirtschaft wurden die Kapitel 4.1 dargestellten Einsparpotenziale mit einberechnet.

Im Zuge der Sektorkopplung wird Strom noch eine wesentlich stärkere Rolle in den Sektoren Mobilität und Wärme spielen, weshalb Strom für Heizzwecke und für Mobilität hier nochmals separat herausgearbeitet wurde (folglich Kapitel 4).





**Abbildung 34: Entwicklung des Energiebedarfs in den verschiedenen Sektoren**

So zeigt sich auf der Bedarfs-Seite die Auswirkung der in Kapitel 4.1 geschilderten Einspar- und Transformationsprozesse. Auf der einen Seite ist eine deutliche Einsparung über alle Sektoren hinweg festzustellen. Insgesamt beträgt die Einsparung 2.160.400 MWh bzw. 46 %. Die Einsparung resultiert vor allem auf Basis der Reduktion des Energiebedarfs im Sektor Mobilität, welche wiederum vor allem auf die Transformation hin zu deutlich effizienteren, elektrifizierten Antriebstechnologien zurückzuführen ist (folglich Kapitel 4.3.1). Zudem sind die Einsparungen durch Sanierung und Effizienzsteigerung im thermischen Bereich und im Bereich des Allgemeinstrom-Bedarfs ersichtlich. Im Wärme-Segment ist auch eine merkbare Transformation vom thermischen Energiemix aus vor allem Gas und Heizöl hin zu elektrischen Wärmeerzeugern zu erkennen (folglich den Annahmen in Kapitel 4.3.2). Durch die verstärkte Elektrifizierung der Sektoren Mobilität (530.700 MWh<sub>el</sub>) und der Wärmeversorgung durch den Einsatz von Wärmepumpen (Heizstrom 324.400 MWh<sub>el</sub>) findet ca. eine Verdoppelung des Strombedarfs bis zum Jahr 2040 statt. Dieser Bedarf ist beim Ausbau erneuerbarer Stromquellen speziell zu berücksichtigen, da er ohne Umwandlungsschritte direkt aus Erneuerbaren bereitgestellt werden kann.

## 5.2 Erzeugung

Die Rahmenbedingungen für den Ausbaupfad im Bereich der Erneuerbaren werden im ersten Schritt realistisch-ambitioniert definiert. Aus den in Kapitel 4 ermittelten technischen Potenzialen, die im Landkreis vorzufinden sind bzw. errechnet wurden, wird für das Skizzieren des möglichen Szenarios im Jahr 2040 eine Teilmenge als praktikabel erschließbar angenommen.

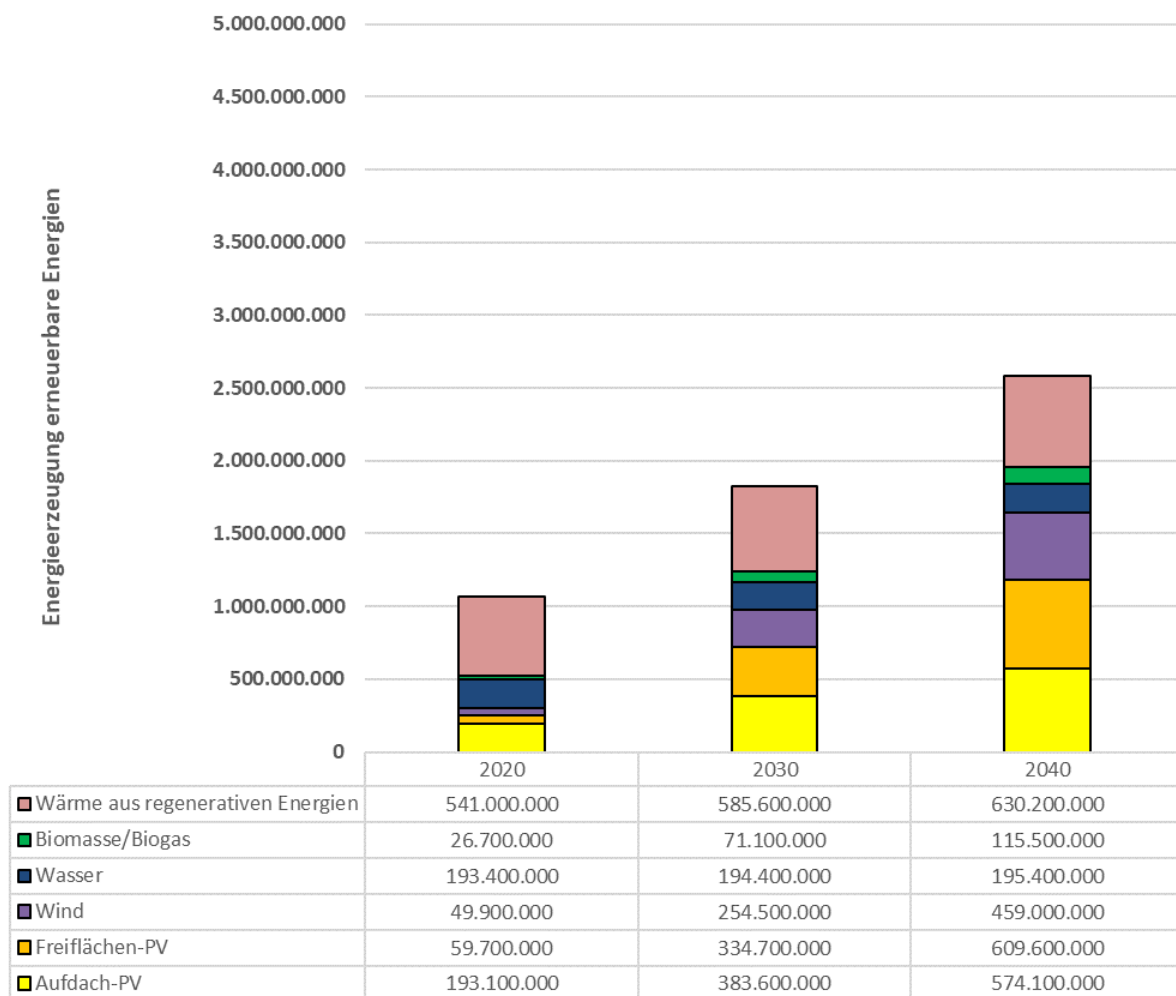
Ein vollständiges Erschließen der technischen Potenziale ist insbesondere im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik nicht realistisch. Vor allem da eine Flächenkonkurrenz zwischen der landwirtschaftlichen Nutzung der in Frage kommenden Flächen und der Solarstromgewinnung besteht. So wird beispielsweise aus dem hohen vorhandenen technischen Potenzial im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik lediglich eine Teilmenge von rund 5 % als zu erschließen angesetzt. Dies entspräche einem Anteil an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche im Landkreis von ca. 1 % und orientiert sich somit auch an Erfahrungswerten, die in anderen Landkreisen und Gemeinden zuletzt in gemeinsamer Abstimmung mit den Akteuren gemacht wurden.

Bei der Betrachtung von Windkraft werden im betrachteten Szenario Standortmöglichkeiten für rund 51 Windkraftanlagen der 5 MW-Klasse angenommen. Im Ist-Zustand sind bereits elf Groß-Windkraftanlagen installiert. Der Ausbau kann somit zum einen durch Repowering der Bestandsanlagen und zum anderen durch die Nutzung zusätzlicher geeigneter Standorte erreicht werden. Zusammenfassend wurden auf Grundlage der Erhebungen in Kapitel 4 folgende Potenziale im Entwicklungsszenario berücksichtigt:

- **Aufdach-Photovoltaik und Solarthermie:**
  - Nutzung von 60% des abzüglich der Solarthermie zur Verfügung stehenden Gesamtpotenzials (folglich Kapitel 4.4.1.3)
  - Solarthermie: Deckung von 60% des Warmwasserbedarfs der Wohngebäude (folglich Kapitel 4.4.1.2)
- **Freiflächen-Photovoltaik:**
  - 1% der landwirtschaftlichen Fläche (folglich Kapitel 4.4.1.4)
- **Windkraft:**
  - 51 Anlagen à 5 MW (Bestand 11 mit Ø2,7 MW; folglich Kapitel 4.4.4)
- **Biogas-Potenziale:**
  - 10% der landwirtschaftlichen Fläche, Landwirtschaftliche Reststoffe und Bioabfälle (folglich Kapitel 4.4.3.2)
- **Wasserkraft:**

- Keine neuen Standorte; Effizienzsteigerung 10% (außer Wasserkraftanlage „Geisling“, folglich Kapitel 4.4.2)
- Umweltwärme:
  - Sektorenkopplung durch Einsatz von 23.350 Wärmepumpen (folglich Kapitel 4.3.2 und 0)
- Biomasse (Holz):
  - Wärme: kein nennenswertes Ausbaupotenzial (folglich Kapitel 4.4.3.1)
  - Strom: kein Ausbaupotenzial berücksichtigt

Abbildung 35 zeigt die Entwicklung der Energiemengen aus den geschilderten Energiequellen ausgehend vom Ist-Zustand (Jahr 2020) über das Jahr 2030 bis zum Zieljahr 2040.



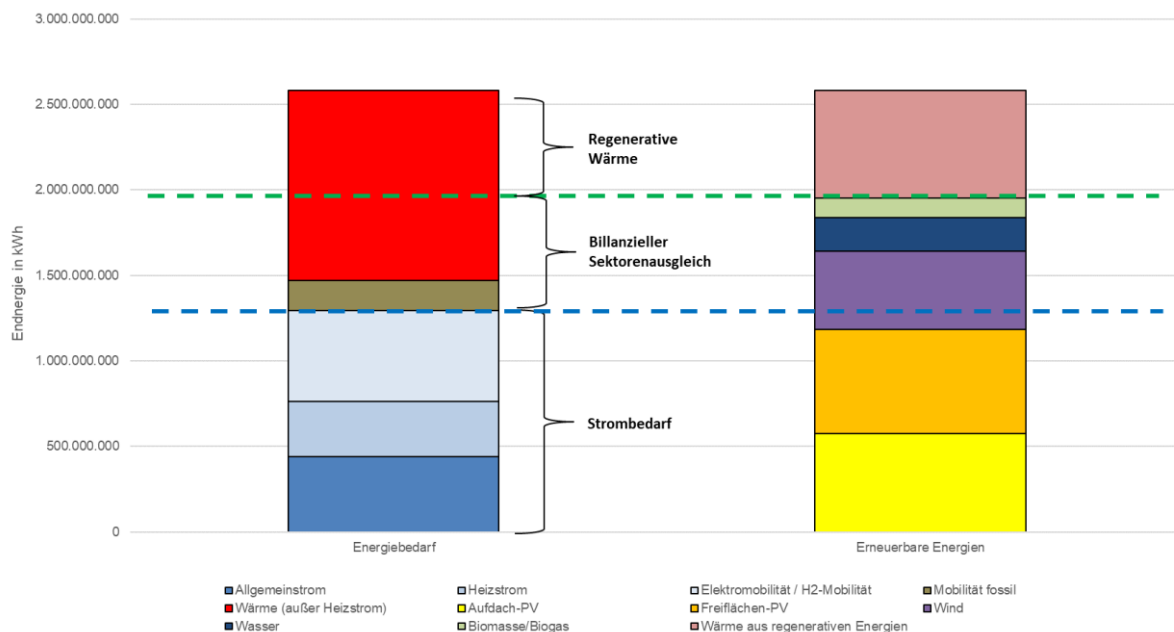
**Abbildung 35: Die Entwicklung der Energiemengen aus den verfügbaren Energiequellen**

Man erkennt insbesondere das Potenzial in den Bereichen Aufdach-Photovoltaik, Freiflächen-Photovoltaik und Windenergie. Bei Erschließen der Potenziale zu dem zuvor geschilderten Grad, könnte die

Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien von aktuell 522.800 MWh auf rund 1.953.600 MWh im Jahr 2040 gesteigert werden. Das entspräche einem Ausbau auf 374 % des Ist-Zustandes.

### Gesamtbild im Jahr 2040

Bedarf und Erzeugung im Jahr 2040 herausgegriffen und gegenübergestellt, ergibt sich das in Abbildung 36 dargestellte Verhältnis aus den jeweiligen Verbrauchssektoren und den regenerativ, regional bereitgestellten erneuerbaren Energie-Mengen. Die Wärme aus regenerativen Energien umfasst dabei die zuvor dargestellten Potenziale aus Solarthermie, der Biomasse und der Wärmenutzung aus Biogas.



**Abbildung 36: Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der Erneuerbaren Energieerzeugung im Jahr 2040**

Es ist klar zu erkennen, dass bei Beschreiten des skizzierten Ausbaupfads der Bedarf im Landkreis bilanziell aus regionalen erneuerbaren Energien bereitgestellt werden kann.

Dabei sind rein die jährlich erforderlichen Endenergiemengen beleuchtet, etwaige Wandlungsverluste, die auftreten würden, um fossile Brenn- oder Treibstoffe mittels Strom zu substituieren (zum Beispiel über Wasserstoff), sind in dieser Betrachtung nicht darstellbar.

Zudem handelt es sich wie geschildert um eine bilanzielle Betrachtung, das heißt es kann daraus zunächst keine Aussage darüber abgeleitet werden, wie autark der Landkreis (im Sinne einer jederzeit vorhandenen Eigenversorgung) ist. Tatsächlich ist der zeitliche Verlauf der generierten Energie nie zu einhundert Prozent deckungsgleich mit dem Verlauf des Bedarfs. Eine wirkliche Autarkie ist so nicht möglich, es wird immer ein permanenter Austausch von Energie über die Grenzen des Bilanzraums

hinweg erfolgen müssen. Der Grad dessen, was aus dem Bilanzraum exportiert bzw. in diesen importiert wird, kann aber auf verschiedene Wege reduziert werden. So ist es möglich Verbraucher nach der aktuellen Erzeugung auszurichten, also beispielsweise Verbraucher insbesondere dann hochzufahren, wenn ein hohes Angebot an Sonne und Wind vorliegt (Lastmanagement). Alternativ können verschiedene Formen von Kurzzeit-Stromspeichern dienen Überkapazitäten zu puffern und bei Bedarf freizugeben. Darüber hinaus wäre ein Speichern von Strom über Zwischenstufen wie das Medium Wasserstoff denkbar.

Weiterhin spricht für eine verstärkt dezentrale, regionale Erzeugungsstruktur mit erneuerbaren Energien Anlagen, dass neben den offensichtlichen CO<sub>2</sub>-Reduktions- und Klimaschutzpotenzialen, die mit dem generellen Ausbau der Erneuerbaren gehoben werden, weitere wirtschaftlich und gesellschaftspolitisch positive Effekte auftreten.

So kann durch die regionale Produktion beispielsweise das Erfordernis, das Übertragungsnetz auszubauen reduziert werden. Zudem erzielen Erneuerbare-Energien-Projekte eine wertvolle, regionale Wertschöpfung (Pacht- und Steuereinnahmen, aber auch Arbeitsplätze und eine Vermeidung von Importkosten). Insbesondere bei Modellen mit direkter Bürgerbeteiligung oder einer abzusehenden Verbesserung der direkten Beteiligung der Kommunen an einzelnen Projekten, kann diese Ausrichtung dazu beitragen die kommunalen Haushalte zu verbessern, die Wirtschaftskreisläufe vor Ort zu stärken und die Standortattraktivität zu steigern.

## 6 Kommunenspezifische Ergebnisse des Marktes Kallmünz

### 6.1 Gemeindesteckbrief

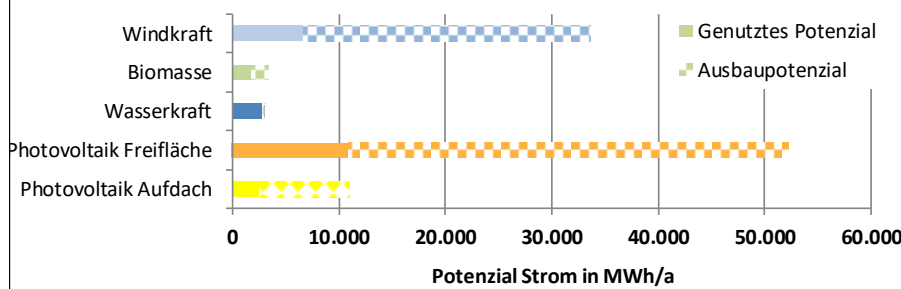
<b>Kallmünz</b>		
<b><u>Energie - Ist-Zustand</u></b>		
<b>Strombezug nach Sektoren</b>	<b>MWh/a</b>	<b>Anteil</b>
Private Haushalte	3.396	29%
Kommunale Liegenschaften	89	1%
Wirtschaft	8.090	70%
<b>Gesamt</b>	<b>11.576</b>	
<b>Strombezug und Stromeinspeisung nach Energieträger</b>	<b>MWhel/a</b>	<b>Anteil</b>
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	24.603	213%
Photovoltaik Aufdach	2.521	22%
Photovoltaik Freifläche	10.829	94%
Wasserkraft	2.863	25%
Biomasse	1.752	15%
Windkraft	6.638	57%
Stromeinspeisung KWK (fossil)	0	0%
Stromüberschuss EE	13.028	113%
<b>Gesamt</b>	<b>11.576</b>	
<b>Wärmeverbrauch nach Sektoren</b>	<b>MWh/a</b>	<b>Anteil</b>
Private Haushalte	26.564	62%
Kommunale Liegenschaften	0	0%
Wirtschaft	16.268	38%
<b>Gesamt</b>	<b>42.832</b>	
<b>Wärmeverbrauch nach Energieträger</b>	<b>MWh/a</b>	<b>Anteil</b>
Erneuerbare Energien	13.943	33%
Biomasse (Holz)	11.725	27%
Wärme Biogasanlagen	1.874	4%
Solarthermie	343	1%
Fossile Energieträger	27.358	64%
Erdgas	0	0%
Heizöl	27.358	64%
Sonstiges	0	0%
Heizstrom	1.531	4%
<b>Gesamt</b>	<b>42.832</b>	
<b>im Ist-Zustand (Wärme und Strom)</b>		<b>t/a</b>
onen gesamt		2.324
onen pro Einwohner		0,8

# Kallmünz

## Potenzialanalyse

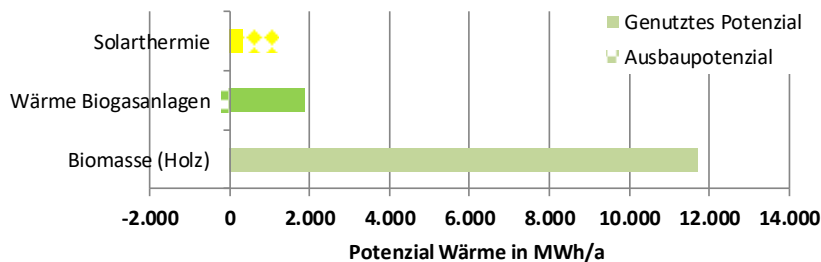
Strombezug nach Sektoren	Jahr 2020 MWh/a	Jahr 2040 MWh/a	Einsparung
Private Haushalte	3.396	2.510	26%
Kommunale Liegenschaften	89	66	26%
Wirtschaft	8.090	5.980	26%
<b>Gesamt</b>	<b>11.576</b>	<b>8.556</b>	<b>26%</b>

Strombezug und Stromeinspeisung nach Energieträger	Jahr 2020 MWh/a	Jahr 2040 MWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	24.603	103.355
Photovoltaik Aufdach	2.521	10.926
Photovoltaik Freifläche	10.829	52.203
Wasserkraft	2.863	3.149
Biomasse	1.752	3.438
Windkraft	6.638	33.638
Stromüberschuss EE	13.028	94.799
<b>Gesamt</b>	<b>11.576</b>	<b>8.556</b>



Wärmeverbrauch nach Sektoren	Jahr 2020 MWh/a	Jahr 2040 MWh/a	Einsparung
Private Haushalte	26.564	22.066	17%
Kommunale Liegenschaften	0	0	#DIV/0!
Wirtschaft	16.268	12.024	26%
<b>Gesamt</b>	<b>42.832</b>	<b>34.091</b>	<b>20%</b>

Wärmeverbrauch nach Energieträger	Jahr 2020 MWh/a	Jahr 2040 MWh/a
Erneuerbare Energien	13.943	14.590
Biomasse (Holz)	11.725	11.725
Wärme Biogasanlagen	1.874	1.650
Solarthermie	343	1.215
Sonstige Energieträger	27.358	19.501
<b>Gesamt</b>	<b>42.832</b>	<b>34.091</b>



## 6.2 Maßnahmenkatalog

Das Kernziel des digitalen Energienutzungsplans ist die Erstellung eines umsetzungsorientierten und praxisbezogenen Maßnahmenkatalogs, der konkrete Handlungsempfehlungen für die einzelnen Kommunen des Landkreises und den Landkreis selbst aufzeigt. Die Maßnahmenkataloge für die 41 Landkreiskommunen wurden individuell mit jeder Kommune, während der beiden kommunalen Abstimmungsrunden, ausgearbeitet und übermittelt. Der Maßnahmenkatalog für den Markt Kallmünz ist nachfolgend dargestellt und wurde mit den Akteuren des Marktes Kallmünz abgestimmt.

**Tabelle 9: Maßnahmenkatalog für den Markt Kallmünz**

Markt Kallmünz					
33	Projekttitle	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure	Weitere Hinweise	Priorität und zeitliche Relevanz
1	PV-Anlage Kinderkrippe	Die Kinderkrippe in Kallmünz ist noch relativ neu. Mit Wärme wird das Gebäude über eine Erdwärmesonde/Wärmepumpe versorgt. Die Liegenschaft soll mit einer PV-Anlage inkl. Speicher versehen werden. Im ersten Schritt ist geplant, den Anbau mit PV zu belegen. Für die Maßnahme wurde bereits ein Planer beauftragt.	Markt Kallmünz, Energieagentur	- Ausschreibung erfolgt zeitnah, Umsetzung für 2023 geplant	Hohe Priorität
2	Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes	In Kallmünz gibt es bereits einen Wärmeverbund (Hackschnitzelheizung), der unter anderem das Kinderheim, das Altenheim und noch weitere Liegenschaften versorgt. Die Kapazitäten sind nun ausgeschöpft, weshalb die Anlage erweitert werden soll. Die REWAG plant derzeit zudem den Aufbau eines neuen Heizwerkes (ggf. als Containersystem).	Markt Kallmünz, REWAG		Mittel- bis langfristig
3	Aufbau eines neuen Wärmenetzes	Der Markt plant derzeit, zusammen mit der Energieagentur, ein weiteres Wärmenetz in Kallmünz. Dieses soll über ein Hackschnitzelheizwerk betrieben werden. Zudem ist in diesem Zuge die Errichtung einer Tankstelle sowie einer PV-Freiflächenanlage geplant. Die Biogasanlage in Schirmdorf soll ggf. zusätzlich als Wärmelieferant dienen. An die neue Wärmeversorgung sollen unter anderem die Schule, der Kindergarten, die Kinderkrippe sowie das Feuerwehrhaus angeschlossen werden. Zudem befindet sich in der Ringstraße eine Siedlung mit älteren Häusern, die ggf. ebenso Interesse zum Anschluss an ein Wärmenetz haben könnten. Falls die Biogasanlage mit in das Wärmenetz einspeisen würde, wäre auch eine Versorgung des OT Fischbach interessant, da sich dieser auf der Trasse befindet.	Markt Kallmünz, Energieagentur, Biogasanlagenbetreiber, potenzielle Wärmeabnehmer	- Gründung Kommunalunternehmen für Wärmenetz geplant - Beschluss zur Umsetzung wurde im Marktrat bereits gefasst	Mittel- bis langfristig
4	Prüfung zum Aufbau eines weiteren Wärmenetzes	Unterhalb der Burg zeigt das im Rahmen des Energienutzungsplans erstellte Wärmekataster eine hohe Wärmedichte auf. In diesem Bereich sind zudem noch überwiegend alte Ölheizungen verbaut, weshalb sich das Gebiet für den Aufbau eines Wärmenetzes eignen würde. Auf Grund der steigenden Energiepreise könnte bei den Bürgern das Interesse zum Anschluss an ein Wärmenetz gegeben sein. Im ersten Schritt würde sich die Abfrage des Interesses bei den Bürgern, zum Beispiel durch eine Fragebogenaktion, anbieten.	Markt Kallmünz, Wärmenetzbetreiber, potenzielle Wärmeabnehmer		Mittel- bis langfristig
5	Prüfung PV-Anlage Kläranlage	Auf der Kläranlage ist bereits eine PV-Anlage vorhanden. Diese weist allerdings einen schlechten Ertrag auf, da das Gebäude an einem ungünstigen Standort steht. Um den hohen Strombedarf dennoch zu einem großen Teil durch Eigenerzeugung decken zu können, sollte die Möglichkeit einer bedarfsgerechten Freiflächen-PV-Anlage geprüft werden. Eine entsprechende Grünfläche stünde neben der Kläranlage zur Verfügung.	Markt Kallmünz	- erst relevant, wenn klar ist, wie die Kläranlage zukünftig genutzt wird	Hohe Priorität
6	Prüfung PV-Anlagen Pumpstationen	In Summe gehören die Pumpstationen zu den größten Stromverbrauchern des Marktes. Entsprechend sollten die verfügbaren Dach- und Freiflächen für die Installation von PV-Anlagen geprüft werden. Zudem sollten die Pumpen bei Installation einer PV-Anlage, wenn möglich, auf Tagbetrieb umgestellt werden, sodass der erzeugte PV-Strom bestmöglich genutzt werden kann.	Markt Kallmünz	- Bei Pumpstation Dinau PV-Anlage inkl. Speicher geplant	Hohe Priorität
7	Prüfung PV-Anlage Schule	Die Schule gehört zu den größten Stromverbrauchern der kommunalen Liegenschaften. Durch den Einbau der Lüftungsgeräte wegen der Corona-Pandemie ist der Verbrauch nochmal erheblich angestiegen. Eine PV-Anlage ist bisher noch nicht vorhanden, geeignete Dachflächen stünden zur Verfügung. Auf Grund der steigenden Strompreise und der hauptsächlich tagsüber genutzten Räumlichkeiten sollte geprüft werden, ob die Installation einer PV-Anlage möglich ist. So könnte ein Großteil des Strombedarfs durch eigenerzeugten PV-Strom gedeckt werden.	Markt Kallmünz, Schulverband		Hohe Priorität
8	Beleuchtungsaustausch Schule	Die Beleuchtung in der Schule ist ggf. veraltet. Es sollte eine Bestandsaufnahme der Leuchten erfolgen, um im zweiten Schritt ein Beleuchtungskonzept mit möglichen Optimierungen zu erarbeiten.	Markt Kallmünz		Hohe Priorität - zeitnaher Projektstart sinnvoll
9	Gesamtenergiekonzept Kindergarten	Der Kindergarten ist bereits mehrere Jahre alt und muss saniert werden. Derzeit ist das Gebäude noch im Besitz der Kirche, der Markt möchte dieses aber erwerben. Insofern das Gebäude in den Besitz der Kommune übergeht, empfiehlt sich die Erstellung eines Gesamtenergiekonzepts für Sanierung, Heizungsaustausch, PV-Anlage, usw. Der Kindergarten könnte an das geplante Wärmenetz mit angeschlossen werden.	Markt Kallmünz	- In Verbindung mit Maßnahme 3	Hohe Priorität - Rechtzeitige Berücksichtigung im Rahmen der Planungsarbeiten



10	Alternative Wärmeversorgung Feuerwehrhaus	Im Feuerwehrhaus befindet sich derzeit noch eine Ölheizung. Zukünftig ist für das Gebäude ein Anschluss an die Fernwärme geplant.	Markt Kallmünz	- In Verbindung mit Maßnahme 3	Mittelfristig - kein akuter Handlungsbedarf
11	Prüfung PV-Anlage Verwaltungsgebäude	Für das Verwaltungsgebäude würde sich auf Grund der tagsüber genutzten Räumlichkeiten eine PV-Anlage anbieten, um den Strombedarf größtenteils durch eigenerzeugten PV-Strom decken zu können. Zudem wird das Gebäude über eine Wärmepumpe betrieben, wofür der PV-Strom ebenso genutzt werden kann. Da das Gebäude unter Ensembleschutz steht wurde die Möglichkeit bisher noch nicht grundlegend geprüft. Auf Grund der neuen gesetzlichen Regelungen sollte die Installation einer PV-Anlage trotz Ensembleschutz möglich sein.	Markt Kallmünz		Hohe Priorität - Prüfung im Rahmen des ENP als Leitprojekt (folglich Kapitel 6.3)
12	Prüfung PV-Anlage Vereins- und Kulturheim	Das Vereins- und Kulturheim steht unter Ensembleschutz, weshalb das Gebäude bisher noch über keine PV-Anlage verfügt. Auf Grund der neuen gesetzlichen Regelungen könnte die Installation durchaus möglich sein. Die Dachflächen des Gebäudes sollten deshalb für eine PV-Anlage mit Stromeigenutzung geprüft werden.	Markt Kallmünz		Hohe Priorität

## 6.3 Leitprojekt – PV-Screening für die kommunalen Gebäude des Marktes Kallmünz

### 6.3.1 Allgemeine Vorgehensweise im PV-Screening

#### 6.3.1.1 Technische Dimensionierung

Im ersten Schritt werden die Flächen, deren Neigung und Ausrichtung anhand ausgewählter Luftbilddaufnahmen und 3D-Modellen der betroffenen Liegenschaften ermittelt. Mögliche Einflussgrößen auf den Ertrag in Form von Verschattung durch umliegende Vegetation oder Bauten werden hier ebenfalls bewertet. Als Ergebnis dieser Betrachtung ergibt sich pro Dachfläche die maximal mögliche **Anlagenleistung in kW<sub>p</sub>** und der **spezifische Ertrag in kWh/(kW<sub>p</sub>\*a)**. Der spezifische Ertrag ist ein wichtiger Kennwert, um die Qualität des Standortes bzw. der PV-Anlage zu klassifizieren. Er gibt grundsätzlich an, wieviel elektrische Energie pro kW<sub>p</sub> und Jahr gewonnen werden kann. Auf Basis dieser beiden Kennwerte wird der zu erwartende **Jahresertrag in kWh/a** der jeweiligen Anlage berechnet. Anschließend wird mittels softwaregestützter Simulation die mögliche **Eigenverbrauchsquote** und der **Autarkiegrad** der Liegenschaften mithilfe der Stromverbrauchsdaten berechnet. Hierbei werden die viertelstündlichen Leistungswerte eines Verbrauchslastprofils und des Erzeugungsprofils der simulierten PV-Anlage gegenübergestellt. Das Verbrauchslastprofil ist dabei standardisiert und abhängig von der jeweiligen Liegenschaftsnutzung. Bei Liegenschaften mit sehr hohem Verbrauch wird der tatsächliche Lastgang zugrunde gelegt.

#### 6.3.1.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wird im zweiten Schritt die Wirtschaftlichkeit in vier verschiedenen Varianten für die jeweilige Liegenschaft bewertet.

- Bei der 1. Variante werden die potenziell geeigneten Flächen vollständig genutzt. Dabei ist die maximale Belegung der zur Verfügung stehenden Fläche mit PV-Modulen und eine Stromeigenutzung mit Überschusseinspeisung das Hauptkriterium.
- Variante 2 stellt die **gewinnoptimierte Variante** unter dem Aspekt des maximalen Gewinns dar, bei der die Anlagengröße mit dem höchsten kumulierten Überschuss über 20 Jahre dargestellt ist.
- Variante 3: Ebenso ergibt sich zukünftig im novellierten EEG die Möglichkeit einer „**Mischvariante**“. Hierbei findet eine getrennte Nutzung der gesamten PV-Anlage statt. Die Gesamtanlage setzt sich aus einer volleinspeisenden PV-Anlage und einer Anlage mit Eigenverbrauch zusammen, wodurch sowohl die Vorteile der Stromeigenutzung als auch der Vorzug der angehobenen Vergütungssätze für Volleinspeisung genutzt werden können.

- Variante 4 stellt die Möglichkeit einer PV-Anlage mit reiner **Volleinspeisung** dar. Dabei wird auf die Stromeigennutzung des selbsterzeugten PV-Stroms verzichtet und dieser stattdessen vollständig in das öffentliche Netz eingespeist. Da im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 die Vergütungssätze für Volleinspeiseranlagen deutlich angehoben wurden, kann diese Variante (vor allem für Liegenschaften mit geringem Stromverbrauch) wirtschaftlich vorteilhaft sein.

Alle aufgezählten Varianten beinhalten folgende Aspekte der Wirtschaftlichkeit:

- Investitionskostenprognose
- Prognose der jährlichen Kosten
- Aktuelle Vergütungssätze nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023
- Prüfen der jährlichen Einnahmen aus der Einspeisung und vermiedenen Strombezugskosten
- Amortisationszeit der Anlage und erzielte Überschusseinnahmen über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren

Darüber hinaus wurden folgende Grundannahmen bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung herangezogen:

- Es wird eine Kostenschätzung bzw. Investitionskostenprognose aufgestellt.
- Den Kalkulationen liegen aktuell marktübliche Durchschnittskosten zugrunde und keine konkreten Angebote.
- Jährliche Betriebskosten, sowie Kosten für Versicherung und Verwaltung, werden berücksichtigt. Sie orientieren sich prozentual an den Investitionskosten.
- Die Maßnahmen werden als jeweils vollständig fremdfinanziert betrachtet. Für das Fremdkapital liegt ein **Zinssatz von 3 %** zugrunde
- Der Betrachtungszeitraum ist ausschließlich 20 Jahre.
- Es wird von einer möglichst schnellen Tilgung ausgegangen, dabei soll sich die Anlage in möglichst kurzer Zeit selbst refinanzieren.
- Die Strombezugskosten wurden auf **35 Ct/kWh** angesetzt.
- Alle Angaben stellen einen Nettobetrag dar.
- Zusätzlich wird die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch den erzeugten Solarstrom errechnet.

### **Wichtige Hinweise:**

- Die Statik sollte vor der Ausschreibung durch einen qualifizierten Statiker geprüft werden.
  - Bei Anlagen von 30 kWp (oder größer) muss zunächst eine Netzverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden, die vor Umsetzung beim Netzbetreiber angefragt werden kann.
- ➔ Hinsichtlich der Berechnungen werden folgende Annahmen getroffen:
- Statik erfüllt
  - Netzanschluss ist ausreichend vorhanden

### 6.3.2 Liegenschaft: Verwaltungsgebäude Kallmünz

#### Ausgangslage

Geplant ist die Installation einer Photovoltaikanlage auf den Dachflächen des Verwaltungsgebäudes in Kallmünz, um vor allem den Strombezug aus dem öffentlichen Netz zu verringern. Ob und in welcher Art eine Umsetzung wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll wäre, wird in einer Potenzialanalyse untersucht.

Das Verwaltungsgebäude in Kallmünz hat folgenden Strombedarf:

- 2019 mit 61.458 kWh
- 2020 mit 61.020 kWh
- 2021 mit 57.390 kWh

#### Eckdaten zum Gebäude:

Für das Screening wurden die farblich gekennzeichneten Dachflächen in Süd- und Ost-West-Ausrichtung mit folgenden Eigenschaften betrachtet:

- Gesamte Nutzfläche: ca. 260 m<sup>2</sup>.
- Dachflächen mit einer Neigung von ca. 30° und 35°.
- Kein Einfluss auf den Ertrag durch Verschattung zu erwarten.
- Es ergibt sich eine Mischvergütung von **7,06 Ct/kWh** bei Vollbelegung mit Eigenverbrauch und Überschusseinspeisung.



Luftbild Verwaltungsgebäude Kallmünz

- ➔ Bei maximaler Belegung ergibt sich eine Gesamtleistung von ca. **50 kW<sub>p</sub>**.
- ➔ Der spezifische Ertrag liegt bei ca. **1.050 kWh/kW<sub>p</sub>** pro Jahr.
- ➔ Der jährlich anzunehmende Ertrag liegt folglich in etwa bei **52.000 kWh**.

## Ergebnisse

**Tabelle 10: Zusammenfassung Verwaltungsgebäude Kallmünz Variante 1/2**

Verwaltungsgebäude			
		Var. 1: Vollbelegung mit Eigenverbrauch	Var. 2: gewinnoptimierte Variante
PV-Generatorleistung	kWp	50	50
spez. Jahresertrag	kWh/kWp	1.050	1.050
Erzeugte Jahresenergie	kWh/Jahr	52.000	52.000
Netzeinspeisung	kWh/Jahr	21.000	21.000
Eigenverbrauchsanteil PV	%	60%	60%
Autarkiegrad	%	52%	52%
<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>			
Investitionskosten	€	57.000	57.000
Einnahmen gesamt	€/a	12.300	12.300
→ Stromeigennutzung	€/a	10.800	10.800
→ Überschusseinspeisung	€/a	1.500	1.500
→ Volleinspeisung	€/a	0	0
Ausgaben gesamt	€/a	4.600	4.600
Statische Amortisationszeit	a	5	5
Überschuss nach 20 Jahren	€	154.000	154.000
<b>CO2-Einsparung nach 20 Jahren</b>			
	t	580	580

**Tabelle 11: Zusammenfassung Verwaltungsgebäude Kallmünz Variante 3/4**

Verwaltungsgebäude			
		Var. 3: Mischvariante Eigenverbrauch   Volleinspeisung	Var. 4: volleinspeisende Variante
PV-Generatorleistung	kWp	50   0	50
spez. Jahresertrag	kWh/kWp	1.050	1.050
Erzeugte Jahresenergie	kWh/Jahr	52.000	52.000
Netzeinspeisung	kWh/Jahr	21.000	52.000
Eigenverbrauchsanteil PV	%	60%	0%
Autarkiegrad	%	52%	0%
<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>			
Investitionskosten	€	57.000	57.000
Einnahmen gesamt	€/a	12.300	5.800
→ Stromeigennutzung	€/a	10.800	0
→ Überschusseinspeisung	€/a	1.500	0
→ Volleinspeisung	€/a	0	5.800
Ausgaben gesamt	€/a	4.600	4.600
Statische Amortisationszeit	a	5	14
Überschuss nach 20 Jahren	€	154.000	24.000
<b>CO2-Einsparung nach 20 Jahren</b>			
	t	580	580

### **6.3.3 Handlungsempfehlung**

Für die beiden Dächer ergibt sich bei Vollbelegung mit bevorzugtem Eigenverbrauch und Überschusseinspeisung eine Amortisationszeit von ca. fünf Jahren und ein Überschuss von ungefähr 154.000 € nach 20 Jahren. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der erzeugte Solarstrom zu einem sehr großen Teil direkt vor Ort verbraucht werden könnte und weniger Strom aus dem öffentlichen Netz für einen angesetzten Preis von 35 Ct/kWh bezogen wird. Variante zwei und drei sind identisch zur ersten Variante. Die vierte Variante der Volleinspeisung wäre mit 14 Jahren Amortisationsdauer wirtschaftlich nicht die sinnvollste Wahl. Deswegen ist eine zeitnahe Umsetzung der Variante 1, also die Vollbelegung der Süd-West-Dächer in Verbindung mit einer Stromeigennutzung zu empfehlen.

## 7 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des digitalen Energienutzungsplans für den Landkreis Regensburg zusammen. Daneben wurde für jede der 41 Landkreiskommunen ein separater Abschlussbericht mit den kommunenspezifischen Ergebnissen, inkl. Maßnahmenkatalog und einer Kurzbeschreibung des Leitprojektes, erstellt.

Mit dem digitalen Energienutzungsplan wurde ein Instrument zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieerzeugungs- und Energieversorgungsstruktur erarbeitet. Der Fokus lag dabei auf der Identifizierung und dem Aufzeigen von konkreten Handlungsmöglichkeiten vor Ort, um die Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen und den Ausbau erneuerbarer Energien in den einzelnen Kommunen des Landkreises zu forcieren. Der Energienutzungsplan wurde hierbei nach dem Bottom-up-Prinzip ausgearbeitet. Dies bedeutet, dass sämtliche Berechnungen zunächst für die einzelnen Kommunen des Landkreises durchgeführt und abgestimmt wurden. Die Summe der Ergebnisse aller Kommunen stellt dann die Ergebnisse für den Landkreis dar.

In einer umfassenden Bestandsaufnahme wurde zunächst detailliert die kommunenscharfe Energiebilanz für die Sektoren Wärme und Strom im Ist-Zustand (Jahr 2020) erfasst und der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung ermittelt. Die Berechnungen zeigen, dass bilanziell bereits annähernd so viel Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, als im gleichen Zeitraum verbraucht wird (88 % bilanzielle Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien). Die Wärmeerzeugung hingegen erfolgt noch zu rund 76 % aus fossilen Energiequellen (Heizöl und Erdgas). Sämtliche Energieverbrauchsdaten wurden hierbei gebäudescharf erfasst und in ein gebäudescharfes Wärmekataster überführt. Das gebäudescharfe Wärmekataster ist ein Werkzeug der kommunalen Wärmeplanung und beinhaltet zu jedem Gebäude Informationen zu Nutzung, Baustruktur und Wärmebedarf.

Auf Basis der energetischen Ausgangssituation wurde eine umfassende Potenzialanalyse zur Minderung des Energieverbrauchs und dem Ausbau erneuerbarer Energien ausgearbeitet. Für die Potenzialanalyse zur energetischen Sanierung wurde ein gebäudescharfes Sanierungskataster erstellt. Für jedes Gebäude stellt das Sanierungskataster die mögliche Energieeinsparung für definierte Sanierungsvarianten bzw. Sanierungstiefen dar. Des Weiteren wurden verschiedene Wege zur energetischen Klärschlammverwertung aufgezeigt. Im Bereich der regenerativen Stromerzeugung besteht das größte Ausbaupotenzial bei der solaren Stromerzeugung und dem Ausbau der Windkraft.

Durch den weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung könnten die hohen bilanziellen Über-



schüsse durch den Einsatz von Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung genutzt werden und den Bedarf an Heizöl und Erdgas mindern. Des Weiteren ergeben sich durch Sektorenkopplung und den gezielten Einsatz von Elektrolyseuren zur Wasserstoffproduktion zukünftig weitere Potenziale zur Reduzierung fossiler Energieträger.

Das Kernziel des Energienutzungsplans war die Erstellung eines umsetzungsorientierten und praxisbezogenen Maßnahmenkatalogs, der konkrete Handlungsempfehlungen für jede Kommune im Landkreis und den Landkreis selbst aufzeigt. Dieser Maßnahmenkatalog wurde in enger Abstimmung mit den kommunalen Akteuren ausgearbeitet, konkretisiert und abgestimmt. In Summe konnten über 524 konkrete Projektideen identifiziert werden. Für den Markt Kallmünz wurde ein PV-Screening für die kommunalen Gebäude durchgeführt.

Auf Basis der für die einzelnen Kommunen ausgearbeiteten Maßnahmenkataloge, wurden im Rahmen des Energienutzungsplans für jede Kommune ein ausgewähltes Leitprojekt untersucht. Die Leitprojekte repräsentieren konkrete Maßnahmen, deren Erkenntnisse äquivalent für zahlreiche weitere Kommunen im Landkreis als Musterbeispiel dienen können.

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans wurden die im Zusammenhang mit der Energiewende bisher klassischerweise relevanten Sektoren Strom und Wärme detailliert betrachtet. Der Sektor Verkehr hat jedoch ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch im Landkreis. Zudem stellt er über die steigende Elektromobilität einen wesentlichen Baustein der künftigen Sektorenkopplung dar. Daher wurde Sektor Verkehr in die Szenariobetrachtung des Energienutzungsplans integriert und ein Entwicklungsszenario bis zum Jahr 2040 mit gemeinsamer Betrachtung der Sektorenkopplung Wärme / Strom / Verkehr entwickelt. Auf Basis des Ist-Zustandes, der ermittelten Potenziale im Bereich der Einsparung und der erneuerbaren und der prognostizierten Transformationen von Verkehr (fossile Kraftstoffe hin zum Strom und H<sub>2</sub>) bzw. Wärme (Einsatz von Wärmepumpen) wurden die die zukünftigen Energieströme gegenübergestellt und die notwendigen Ausbaustufen abgeleitet.

Der digitale Energienutzungsplan für den Landkreis Regensburg wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

## 8 Quellenverzeichnis

[AbfaBa]	Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU, Webseite: <a href="https://www.abfallbilanz.bayern.de/">https://www.abfallbilanz.bayern.de/</a>
[BAFA Solar]	Bundesverband Solarwirtschaft BSW e.V.; <a href="https://www.solaratlas.de/index.php?id=5">https://www.solaratlas.de/index.php?id=5</a>
[BDI]	Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI), Studie „Klimapfade für Deutschland“, erstellt von BCG und Prognos, 2018.
[BMVI]	Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2020/2021
[BMWi]	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Stellungnahme des Bundesverbands Wärmepumpe (BWP) e. V. vom 15.3.2022
[CARMEN E]	Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk C.A.R.M.E.N. e.V.; <a href="https://www.carmen-ev.de/2020/11/03/haben-wir-genug-holz-energieholzmarktbericht-2018-zeigt-potentiale-auf/">https://www.carmen-ev.de/2020/11/03/haben-wir-genug-holz-energieholzmarktbericht-2018-zeigt-potentiale-auf/</a>
[EnEV]	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung)
[EVU Erdgas]	Netzabsatzdaten Erdgas durch lokale Energieversorgungsunternehmen
[Fraunhofer ISE]	<a href="https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Daten/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Wirtschaft/Wasserstoff-Infrastruktur_nachhaltige_Mobilitaet.pdf">https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Daten/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Wirtschaft/Wasserstoff-Infrastruktur_nachhaltige_Mobilitaet.pdf</a>
[GEMIS]	GEMIS download - IINAS - DE, 2021. <a href="http://iinas.org/gemis-download-121.html">http://iinas.org/gemis-download-121.html</a> , abgerufen am: 11.01.2021
[KEA Emission]	<a href="https://www.kea-bw.de/kommunaler-klimaschutz/angebote/co2-bilanzierung">https://www.kea-bw.de/kommunaler-klimaschutz/angebote/co2-bilanzierung</a>
[Kopp]	Kopp-Assenmacher, S., Holm, O., Quicker, P. u. Thomé-Kozmiensky, E. (Hrsg.): Verwertung von Klärschlamm. Nietwerder: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH 2020
[LfU Wind]	Bayerisches Landesamt für Umwelt; Energie-Atlas Bayern: Spezielle Planungsgrundlagen Windenergie - WMS
[FNR]	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V, Leitfaden Biogas - Von der Gewinnung zur Nutzung
[Sta Kom]	Statistik Kommunal 2020
[STATISTA B]	Statistisches Bundesamt; <a href="https://de.statista.com/statistik/daten/studie/70094/umfrage/wohngebaeude-bestand-in-deutschland-seit-1994/">https://de.statista.com/statistik/daten/studie/70094/umfrage/wohngebaeude-bestand-in-deutschland-seit-1994/</a>

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektablauf und Einbindung der Akteure .....	9
Abbildung 2: Mit Erdgas versorgte Kommunen im Landkreis Regensburg .....	13
Abbildung 3: Exemplarischer Auszug des gebäudescharfen Wärmekatasters .....	14
Abbildung 4: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen Wärme-katasters .....	15
Abbildung 5: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2020.....	16
Abbildung 6: Wärmebedarf: Anteil der Energieträger im Jahr 2020 .....	16
Abbildung 7: Der Strombezug im Landkreis Regensburg nach Verbrauchergruppen .....	17
Abbildung 8: Strombezug und Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien / KWK im Jahr 2020 ...	18
Abbildung 9: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet .....	19
Abbildung 10: Klärschlammverwertung in Bayern 2020.....	23
Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Klärschlammmenge und TS-Gehalt .....	24
Abbildung 12: Beispiele einer Schneckenpresse zur stationären Klärschlammwässerung der Hersteller IEA (links) und Huber (rechts) (Quelle: IEA Derflinger GmbH und Huber SE).....	26
Abbildung 13: Entwässerungskonzept .....	26
Abbildung 14: Solar- und Bandrockner (Quelle: Thermo-System, Huber SE).....	27
Abbildung 15: Schema einer Trocknungsanlage .....	28
Abbildung 16: Übersicht über vorhandene und geplante thermische und stoffliche Verwertungsmöglichkeiten in Bayern .....	29
Abbildung 17: Der OxFA-Prozess.....	32
Abbildung 18: Kläranlagenstruktur im Landkreis Regensburg .....	33
Abbildung 19: Klärschlammfall nach Größenklassen .....	35
Abbildung 20: Aktuelle Entwässerungsstrukturen in den Kommunen .....	36
Abbildung 21: Klärschlammverwertung im Landkreis Regensburg 2020.....	37
Abbildung 22: Klärschlammverwertungskosten im Landkreis Regensburg .....	38

Abbildung 23: Stand der Klärschlammfäulung .....	39
Abbildung 24: Künftige Standorte mit potenzieller Entwässerung im Landkreis Regensburg .....	41
Abbildung 25: Beispielhafter Ausschnitt des Sanierungskatasters mit Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotenziale (links Jahr 2020 – rechts Jahr 2040).....	50
Abbildung 26: Kartografische Darstellung der Energieeffizienz im Ausgangszustand sowie den Szenarien „100“ und „70“ (Wärmekataster; Sanierungskataster 2040 mit Sanierung auf Wärmebedarf 100 kWh/m <sup>2</sup> a bzw. 70 kWh/m <sup>2</sup> a; 1,5 % für Nicht-Wohngebäude; statistische Erhebung; mit OSM-Layer).....	53
Abbildung 27: Auszug Solarpotenzialkataster für den Landkreis Regensburg ( <a href="https://www.solare-stadt.de/landkreis-regensburg">https://www.solare-stadt.de/landkreis-regensburg</a> ).....	61
Abbildung 28: Landwirtschaftlich benachteiligte Gebiete im Landkreis.....	64
Abbildung 29: Potenzialanalyse Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Übersichtskarte .....	65
Abbildung 30: Übersicht bestehender Biogasanlagen im Landkreis Regensburg.....	69
Abbildung 31: Potenzialanalyse Windkraft [IfE].....	73
Abbildung 32: Standorteignung oberflächennaher Geothermieanlagen (Erdsonden und Erdkollektoren) [Energieatlas Bayern, eigene Bearbeitung] .....	76
Abbildung 33: Standorteignung bzw. Nutzungsmöglichkeiten von Grundwasserwärmepumpenanlagen [Energieatlas Bayern, eigene Bearbeitung] .....	77
Abbildung 34: Entwicklung des Energiebedarfs in den verschiedenen Sektoren .....	81
Abbildung 35: Die Entwicklung der Energiemengen aus den verfügbaren Energiequellen.....	83
Abbildung 36: Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der Erneuerbaren Energieerzeugung im Jahr 2040.....	84

## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die CO <sub>2</sub> -Äquivalente der jeweiligen Energieträger [GEMIS 4.9; Berechnungen IfE] .....	21
Tabelle 2: Der CO <sub>2</sub> -Ausstoß im Landkreis Regensburg aufgeteilt auf die verschiedenen Energieträger .....	22
Tabelle 3: Zusammenfassung der Effizienzsteigerungs- und Energieeinsparpotenziale in den einzelnen Verbrauchergruppen [EVU Erdgas; EVU Strom; EVU Fernwärme; Energieatlas].....	49
Tabelle 4: Potenzial erneuerbarer Energien aus Solarthermie und Photovoltaik.....	62
Tabelle 5: Potenzialanalyse Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Kriterien.....	64
Tabelle 6: Zusammenfassung des Gesamtpotenzials im Bereich feste Biomasse (Wärme) .....	68
Tabelle 7: Zusammenfassung des rechnerischen Gesamtpotenzials im Bereich Biogas .....	71
Tabelle 8: Künftige Verteilung der Wärmepumpen anhand eingesetzter Umweltwärmequellen [BWP/BDH] .....	78
Tabelle 9: Maßnahmenkatalog für den Markt Kallmünz .....	88
Tabelle 10: Zusammenfassung Verwaltungsgebäude Kallmünz Variante 1/2 .....	94
Tabelle 11: Zusammenfassung Verwaltungsgebäude Kallmünz Variante 3/4 .....	94