

**Digitaler Energienutzungsplan
für den Landkreis
Pfaffenhofen a.d. Ilm**

Digitaler Energienutzungsplan für den Landkreis Pfaffenhofen a.d. Ilm

Auftraggeber:

Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm

Hauptplatz 22

85276 Pfaffenhofen a. d. Ilm

Auftragnehmer:

Institut für Energietechnik IfE GmbH

an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Kaiser-Wilhelm-Ring 23a

92224 Amberg

Gefördert durch das

**Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie**



Förderkennzeichen EK-2201-0002

Durchführungszeitraum Juni 2022 – März 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Projektablauf und Akteursbeteiligung	6
3	Analyse der energetischen Ausgangssituation	8
3.1	Methodik und Datengrundlage.....	8
3.1.1	Definition der Verbrauchergruppen.....	8
3.1.2	Datengrundlage und Datenquellen	9
3.2	Energieinfrastruktur.....	10
3.3	Sektor Wärme	11
3.3.1	Gebäudescharfes Wärmekataster	11
3.3.2	Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien	13
3.4	Sektor Strom	15
3.5	Sektor Verkehr	19
3.6	CO ₂ -Bilanz.....	21
4	Potenzialanalyse.....	23
4.1	Grundannahmen und Vorgehensweise	23
4.2	Potenziale zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung	24
4.2.1	Private Haushalte.....	24
4.2.2	Kommunale Liegenschaften	24
4.2.3	Gewerbe und Industrie.....	25
4.2.4	Gebäudescharfes Sanierungskataster	25
4.3	Transformationsprozesse.....	26
4.3.1	Elektrifizierung im Sektor Mobilität.....	26
4.3.2	Elektrifizierung durch den Einsatz von Wärmepumpen (Power-to-Heat).....	27
4.4	Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien	28
4.4.1	Solarthermie und Photovoltaik auf Dachflächen	29
4.4.2	Photovoltaik auf Freiflächen.....	31

4.4.3	Photovoltaik auf Parkplätzen.....	32
4.4.4	Wasserkraft.....	32
4.4.5	Biomasse.....	33
4.4.6	Abwärme	35
4.4.7	Windkraft.....	36
4.4.8	Geothermie.....	39
4.4.9	Kraft-Wärme-Kopplung	42
4.5	Potenzialanalyse Klimawandelanpassung	42
5	Energieszenario 2040	45
6	Maßnahmenkatalog.....	48
7	Schwerpunktprojekte	49
7.1	Erstellung eines Kriterienkatalogs für PV-Freiflächenanlagen.....	49
7.1.1	Zielsetzung.....	49
7.1.2	Projektablauf und Einbindung der Akteure	49
7.1.3	Ergebnisse.....	50
7.2	GIS-Analyse des möglichen Potenzials für Parkplatz-Photovoltaik	55
8	Zusammenfassung	58
	Nomenklatur.....	60
	Quellenverzeichnis	LXI
	Abbildungsverzeichnis	LXII
	Tabellenverzeichnis	LXIV
	Anhang: Kommunale Energiesteckbriefe und Maßnahmenkataloge.....	65

1 Einleitung

Mit dem digitalen Energienutzungsplan für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm wurde ein kommunenscharfes 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 zu forcieren. Der digitale Energienutzungsplan umfasst:

- eine umfassende Bestandsaufnahme der derzeitigen Energieinfrastruktur mit einer detaillierten Energie- und CO₂-Bilanz in den Bereichen Strom und Wärme
- ein digitales Energiemodell mit gebäudescharfem Wärmekataster in den Verbrauchergruppen private Haushalte, kommunale Liegenschaften und Wirtschaft
- eine gebäudespezifische Analyse des Sanierungspotenzials
- eine standortspezifische Potenzialanalyse zum Ausbau erneuerbarer Energieträger
- einen Maßnahmenkatalog mit konkreten Projekten zur weiteren Umsetzung
- ein Energieszenario zur Erreichung einer bilanziellen Eigenversorgung aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2040
- eine Detailanalyse ausgewählter Schwerpunktprojekte

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des digitalen Energienutzungsplans zusammen. Die Erstellung erfolgte im Auftrag des Landkreises und in Kooperation mit den Städten, Märkten und Gemeinden. Das Projekt wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

Hinweis zum 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 erfolgte in mehreren Projektphasen. Zuerst wurde auf Basis einer umfassenden Bestandsaufnahme eine fortschreibbare und detaillierte Energiebilanz für Strom und Wärme im Ist-Zustand (Jahr 2020/2021) für alle Kommunen des Landkreises erstellt. Dabei wurde zwischen den Verbrauchergruppen „Private Haushalte“, „Kommunale Liegenschaften“, „Wirtschaft“ und „Verkehr“ 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 CO₂-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. In diesem Zusammenhang wurden auch zu erwartende Transformationsprozesse im Energiesystem, wie zum Beispiel die sukzessive Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors, beleuchtet. Ebenso wurden die Ausbaupotenziale regionaler erneuerbarer Energieträger analysiert.

Zentrales Element des digitalen Energienutzungsplans ist die Ausarbeitung eines Maßnahmenkatalogs für alle Kommunen des Landkreises, der konkrete Projekte als Basis der weiteren Umsetzung beschreibt. Dieser Maßnahmenkatalog wurde in enger Abstimmung mit kommunalen Akteuren 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 in Form einer Steuerungsrunde mit Vertretern des Landratsamts und der Kommunen durchgeführt. Die Abstimmung der kommunenspezifischen Ergebnisse und regional spezifischen Rahmenbedingungen erfolgte im Rahmen von Regionalkonferenzen mit Vertretern der jeweiligen Kommunen.

Auftaktveranstaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Vorstellung der Inhalte des ENP • Abstimmung der Akteursbeteiligung
1. Abstimmungsrunde	<ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung der Datenerhebung • Vorbereitung der Potenzialanalysen • Besprechen der Einbindung bestehender Studien
2. Abstimmungsrunde	<ul style="list-style-type: none"> • Vorstellung des Ist-Zustands (Entwurf) • Entwurfsbesprechung der Potenziale Erneuerbare Energien (PV-Freifläche)
Zwischenbesprechung in den Kommunen	<ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung kommunenspezifischer Ergebnisse (energetischen Ist-Zustand inkl. Wärmekataster, Potenziale Erneuerbare Energien) • Ausarbeitung eines Maßnahmenkataloges
3. Abstimmungsrunde	<ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung der Ergebnisse aus der Zwischenbesprechung in den Kommunen • Vorstellung der Endergebnisse des Ist-Zustands und der Potenzialanalysen • Energieszenario 2040
Abschlusspräsentation	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentliche Vorstellung der Ergebnisse und offizieller Projektabschluss

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 Nichtwohngebäuden (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 gemeindeeigener Ver- und Entsorgungseinrichtungen, zusammengefasst. Hierfür konnte auf gebäudescharfe Energieverbrauchsdaten der Kommunen zurückgegriffen werden. Zudem wurden in dieser Kategorie auch die Liegenschaften des Landkreises (z.B. Verwaltungsgebäude, Schulen etc.) mit aufgenommen. Auch hier standen die konkreten Energieverbrauchsdaten eines jeden Gebäudes zur Verfügung.

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.

d) Verkehr

Der Endenergiebedarf im Sektor Verkehr schließt sämtliche Bereiche der Mobilität mit ein. So sind nicht nur KFZ oder LKW in dieser Analyse berücksichtigt, sondern auch Flug-, Schienen- und Bahnverkehr. Um einerseits die letztgenannten, nicht territorial zuzuordnenden Mobilitätszweige, die aber de facto zum Energiebedarf in Deutschland beitragen, abzubilden und andererseits eine nicht-repräsentative Verteilung des Energiebedarfs über einzelne Gemeinden (beispielsweise durch große Speditionen) auszuschließen, wurde der Ansatz über einen einwohnerspezifischen Energiekennwert gewählt.

3.1.2 Datengrundlage und Datenquellen

Alle Datenerhebungen, Analysen und Berechnungen im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans beziehen sich auf das Bilanzjahr 2020/2021. 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 zur Verfügung gestellt.
- Gebäudescharfe Erfassung des Energieverbrauchs der kommunalen Liegenschaften und der Liegenschaften des Landkreises mittels Erfassungsbogen.
- Datenerhebungsbögen großer Wirtschaftsbetriebe im Landkreis.
- Datenerhebung der kommunalen Kläranlagen.
- 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. Die Aufstellung umfasst alle Kollektortypen (Flachkollektoren, Vakuum-Röhrenkollektoren) und Anwendungen (Warmwasserbereitstellung und Heizungsunterstützung). [BAFA Solar]
- 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 CO₂-Bilanz enthalten.
- Öffentlich zugängliche statistische Daten (z. B. Statistik Kommunal).
- Veröffentlichungen staatlicher Institutionen (z.B. Landesamt für Umweltschutz LfU)
- Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung (z. B. 3D-Gebäude- und Geländemodell, Laserscandaten, etc.) zur Simulation des Wärmekatasters.

- Gebäudescharfe Daten zum bestehenden Solarpotenzialkataster des Landkreises ([https://www.solare-stadt.de/landkreis-Pfaffenhofen a. d. Ilm](https://www.solare-stadt.de/landkreis-Pfaffenhofen-a.-d.-Ilm)).
- Für die Analyse des Endenergiebedarfs im Sektor Mobilität wurden Veröffentlichungen über den bundesweiten Endenergieverbrauch nach Kraftstoffarten des Bundesverkehrsministeriums herangezogen. [BMVI]

3.2 Energieinfrastruktur

Hinweis:

Die abgebildeten Darstellungen der Energieinfrastrukturen sind eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Erstellung des Energienutzungsplans und dienen als Übersicht zur Erstinformation. Detailliertere Informationen sind für konkrete Vorhaben stets bei den zuständigen Netzbetreibern einzuholen.

Stromnetz

Das Stromnetz im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm wird auf Verteilnetzebene von insgesamt zwei Netzbetreibern (Verteilnetzbetreiber) betrieben:

- Bayernwerk AG
- Kommunalunternehmen Stadtwerke Pfaffenhofen a. d. Ilm

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

Gasnetz

Im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm sind drei Netzbetreiber tätig:

- Kommunalunternehmen Stadtwerke Pfaffenhofen a. d. Ilm
- Energienetze Bayern GmbH & Co. KG
- Stadtwerke Ingolstadt Energie GmbH

Für das Landkreisgebiet liegen vollständige Netzabsatzdaten vor. Von den 19 Gemeinden des Landkreises werden 15 mit Erdgas versorgt.

Wärmenetze

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

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 erfasst und zusammen mit einem 3D-Gebäudemodell 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 2 zeigt einen exemplarischen Ausschnitt des gebäudescharfen Wärmekatasters. Das flächendeckende Wärmekataster liegt dem Energienutzungsplan bei und wird in das Landkreis-GIS überführt.



Abbildung 2: Anonymisierter Ausschnitt eines gebäudescharfen Wärmekatasters

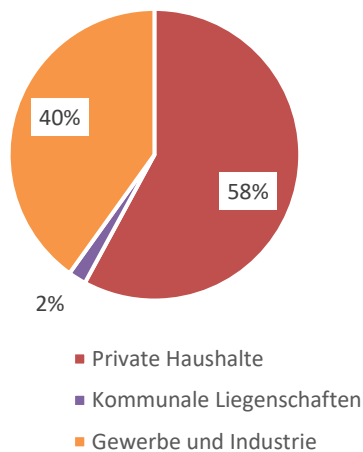
Die Wärmedichte fasst den Wärmebedarf mehrerer Gebäude zusammen und hebt somit Siedlungsbereiche mit einem hohen Wärmebedarf hervor. Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Wärmebedarf als Wärmedichtekarte.



Abbildung 3: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen Wärmekatasters [Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

3.3.2 Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien

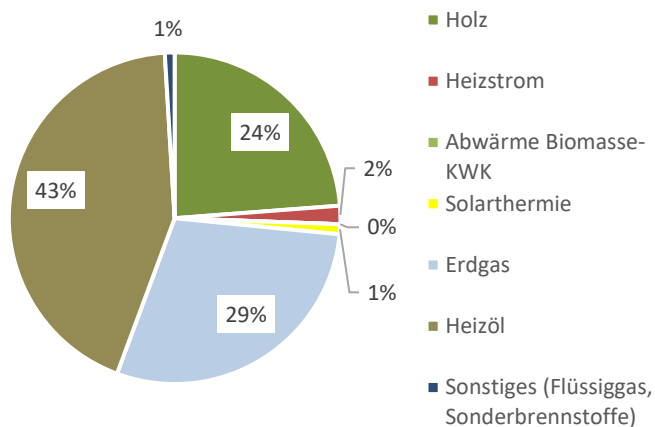
Der jährliche Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung aller Verbrauchergruppen beläuft sich auf rund 1.835.600 MWh pro Jahr. In Abstimmung mit der Steuerungsrunde wurde hierbei der thermische Energiebedarf eines industriellen Großverbrauchers nicht mit in der Bilanz berücksichtigt. In Abbildung 4 ist die Aufteilung des Wärmebedarfs in die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Den höchsten Wärmebedarf weist die Verbrauchergruppe „Gewerbe und Industrie“ auf.



Wärmebedarf nach Verbrauchergruppen	MWh/a
Private Haushalte	1.062.500
Kommunale Liegenschaften	37.300
Gewerbe und Industrie	735.800
Summe	1.835.600

Abbildung 4: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2020/2021

Von den insgesamt 1.835.600 MWh Wärmebedarf werden rund 24 % aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, insbesondere über Biomasse (Holz). Die Hälfte des Wärmebedarfs wird über sonstige Brennstoffe bereitgestellt. Heizöl und Erdgas nehmen einen Anteil von 43 % bzw. 29 % an der Wärmebereitstellung ein.



Energieträger "Thermisch"	MWh/a
Holz	436.400
Heizstrom	32.800
Abwärme Biomasse-KWK	n.b.
Solarthermie	17.800
Erdgas *	534.000
Heizöl	796.200
Sonstiges	18.400
Summe	1.835.600

Abbildung 5: Verteilung der Energieträger zur Bereitstellung von thermischer Energie

*In der Biomethananlage in Wolnzach werden jährlich rund 50 Mio. bis 80 Mio. kWh an Biomethan erzeugt und in das Erdgasnetz eingespeist. Entsprechend kann ein Anteil von rund 10%-15% des im Landkreis benötigten Erdgases als regional erzeugte erneuerbare Energie angesehen werden

Hinweis:

In einzelnen Industriebetrieben werden Sonderbrennstoffe eingesetzt. Wenn diese als Primärenergieträger fungieren (z.B. Heizöl-Stützfeuerung), werden sie in der Energiebilanz mit aufgeführt. Sekundärbrennstoffe (z.B. Abfall) für die bereits Primärenergie aufgewendet wurde, sind nicht in der Energiebilanz enthalten. Ihre Energie wäre dem Herkunftsort des Sekundärbrennstoffs zuzuordnen.

3.4 Sektor Strom

Der Strombezug im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm im Jahr 2020/2021 beläuft sich in Summe auf rund 838.000 MWh. Zur Ermittlung des Strombedarfs wurden die Daten der Stromnetzbetreiber herangezogen. Die Aufteilung des Strombedarfs in die einzelnen Verbrauchergruppen zeigt, dass die Verbrauchergruppe Gewerbe und Industrie mit 80 % den größten Anteil einnimmt, gefolgt von den privaten Haushalten mit 18 %. Kommunale Liegenschaften (inklusive der Liegenschaften des Landkreises) benötigen in etwa 2 % des jährlichen Strombedarfs im Landkreis (Abbildung 6).

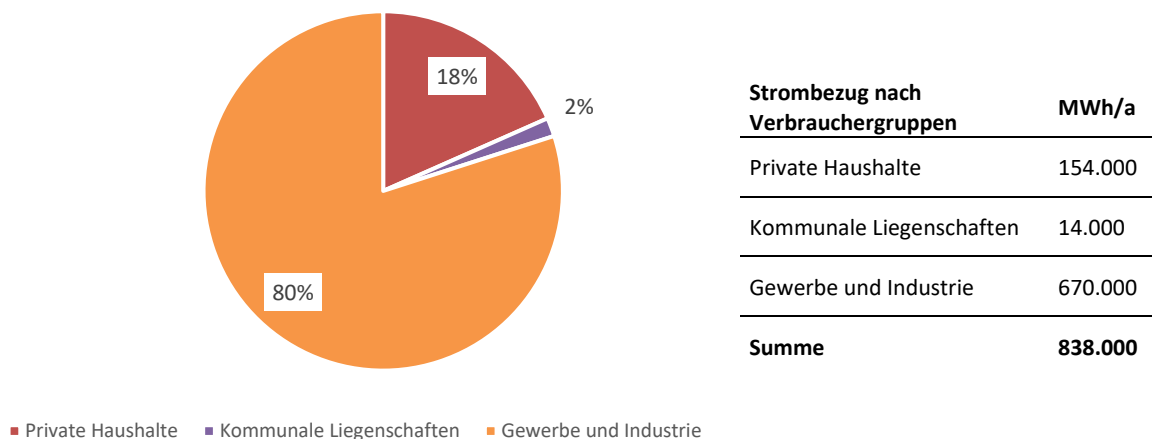
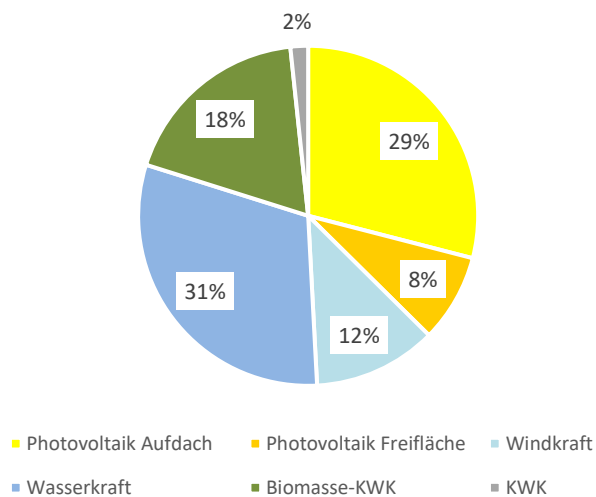


Abbildung 6: Strombezug der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2020/2021

Im Rahmen der Gesamt-Energiebilanz wurden des Weiteren die eingespeisten Strommengen aus Energie-Erzeugungsanlagen im Strom-Netzgebiet detailliert erfasst und analysiert. Abbildung 7 zeigt die eingespeisten Strommengen aus Aufdach-Photovoltaik, Photovoltaik Freifläche, Wasserkraft, Biogas, Windkraft sowie aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen). In Summe wurden im Bilanzjahr 2021 rund 417.000 MWh_{el} in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Den größten Anteil bilden dabei die Wasserkraft und Aufdach-Photovoltaik (je ca. 30 %). Auch Biomasse-KWK-Anlagen (vor allem Biogas) tragen aktuell einen signifikant großen Anteil (ca. 18 %) zum vor Ort erzeugten, erneuerbaren Strom bei.

Zu beachten ist, dass die Stromeigennutzung aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen und KWK-Anlagen nicht im Anteil des jeweiligen Energieträgers enthalten ist. Stattdessen wird die tatsächlich in das öffentliche Netz eingespeiste Strommenge aus erneuerbaren Energien berücksichtigt und dem tatsächlichen Strombezug aus dem öffentlichen Netz gegenübergestellt.

Hintergrund: Stromeigennutzung führt zu einer Minderung des Strombezugs aus dem Stromnetz. In einer Gemeinde, in der viele Anlagen zur Stromeigennutzung (z.B. Aufdach-Photovoltaik) betrieben werden, ist somit der tatsächliche Strombedarf größer als der Strombezug aus dem Netz. Diese angewandte Bilanzierungsmethodik ist entscheidend für eine kontinuierliche Fortschreibung des Energie-nutzungsplans und der Energiebilanz, da nur Bezugs- und Einspeisedaten den Energieversorgern exakt und vollumfänglich vorliegen.



Stromeinspeisung aus er- neuerbaren Energien	MWh/a
Photovoltaik Aufdach	121.000
Photovoltaik Freifläche	35.000
Windkraft	49.000
Wasserkraft	128.000
Biomasse-KWK	77.000
KWK	7.000
Summe	417.000

Abbildung 7: Strom-Einspeisung aus Erneuerbare-Energien- und KWK-Anlagen

Hinweis:

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf Basis konventioneller Energieträger wie z.B. Erdgas werden aufgrund ihrer hocheffizienten Art der Energiewandlung in Strom und Wärme in der oben gezeigten Darstellung mit einbezogen, obwohl sie streng genommen nicht aus regenerativen Energieformen stammen. Zudem sind in den Daten der Energieversorger unter dem Begriff Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auch Klärgas-BHKWs mit aufgeführt, die wiederum als regenerative Energieform gelten, jedoch in den meisten Fällen nicht als EEG-Anlagen sondern als Anlagen nach dem KWK-Gesetz betrieben werden.

In Summe wurden im Bilanzjahr 2021 innerhalb des Landkreises bilanziell rund 417.000 MWh in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Dem gegenüber steht ein Strombezug in Höhe von 838.000 MWh. Eine Übersicht von Bezug und Einspeisung ist in Abbildung 8 dargestellt.

⇒ **Bilanzieller Anteil erneuerbarer Energien / KWK an der Stromversorgung beträgt rund 50 %**

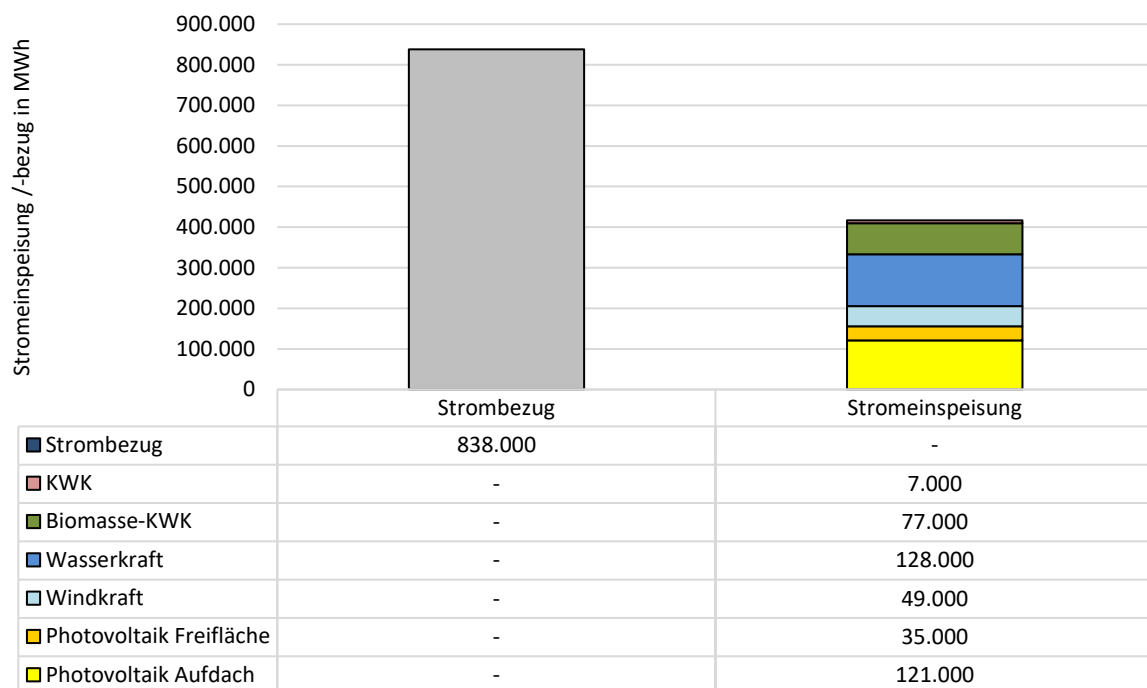


Abbildung 8: Gegenüberstellung von Strombezug und -einspeisung im Ist-Zustand (Bilanzjahr 2021)

Hinweis:

Zum Zeitpunkt der Datenerfassung lag für alle Datensätze als letztes vollständiges Kalenderjahr das Jahr 2020/2021 vor. Daher wurde dies für das Konzept als Bilanzjahr festgelegt. Aufgrund dessen konnten im Jahr 2022 und später neu errichtete EEG- und KWK-Anlagen in der Energiebilanz im Ist-Zustand nicht mit eingerechnet werden.

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans wurden die eingespeisten Strommengen aus Energieerzeugungsanlagen im Bilanzgebiet detailliert erfasst und analysiert. Nachfolgende Grafik zeigt eine Standort-Übersicht der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Landkreis. Anlagen mit einer elektrischen Leistung kleiner 30 kW sind nicht verzeichnet, da die Informationen hierzu nicht georeferenziert vorliegen.

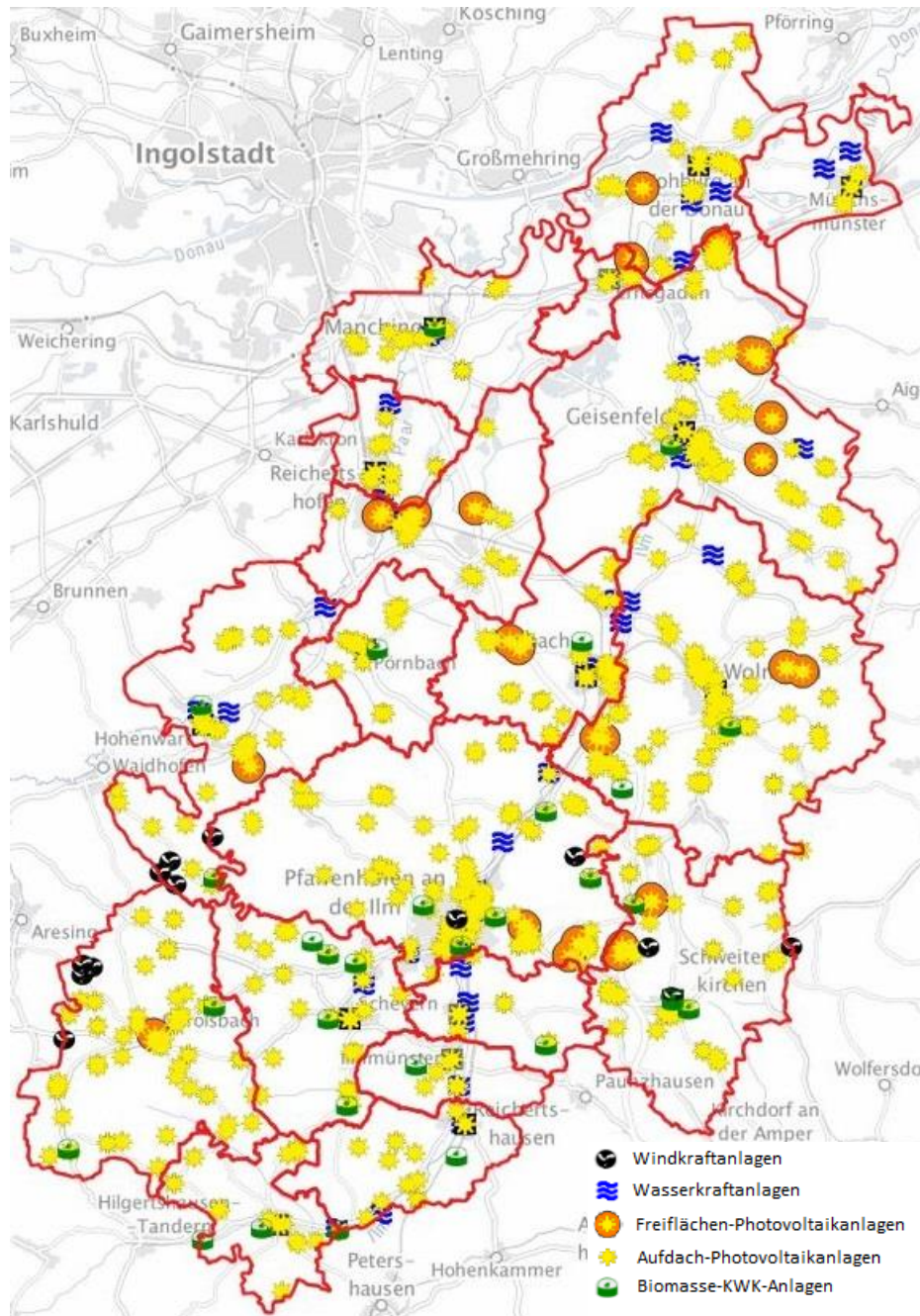


Abbildung 9: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

3.5 Sektor Verkehr

Hinweis: Eine detaillierte Analyse des Sektors „Verkehr“ kann nur über Detailstudien erfolgen. Diese sind nicht Bestandteil des Energienutzungsplans. Die Berechnung des Endenergieverbrauchs stützt sich deshalb u. a. auf allgemeine bundesdeutsche und öffentlich zugängliche Verbrauchsdaten des Sektors.

Als Grundlage für die Berechnung des Endenergieverbrauchs im Sektor „Verkehr“ für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm wurde die Verkehrsstatistik Deutschlands herangezogen. Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr veröffentlicht dazu jährlich das Werk „Verkehr in Zahlen“ mit den aktuellen Daten. Unter Berücksichtigung der Gesamtbevölkerung Deutschlands im Bezugsjahr 2021 (gemäß dem Statistischen Bundesamt) konnte mit den Daten der Verkehrsstatistik ein Kennwert für den Endenergieverbrauch pro Einwohner im Sektor „Verkehr“ gebildet werden. Dem vorliegenden Energienutzungsplan liegt der spezifische Kennwert von 9.047 kWh/Einwohner zugrunde.

Für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm mit rund 130.000 Einwohnenden (gemäß dem Bayerischen Landesamt für Statistik) folgt im Jahr 2021 ein Endenergieverbrauch im Sektor „Verkehr“ von rund 1.174.000 MWh.

Zum gesamten Endenergieverbrauch des Sektors (Abbildung 10) zählen der Schienen-, Straßen-, Luftverkehr und die Binnenschifffahrt. Beim Straßenverkehr wird zwischen Personen- und Güterverkehr unterschieden. Zum Personenverkehr zählen der öffentliche und der Individualverkehr. Der Individualverkehr bildet den größten Anteil am Endenergieverbrauch. Die Zahlen der Statistik für ganz Deutschland sind in Abbildung 10 nach den Verkehrsbereichen dargestellt.

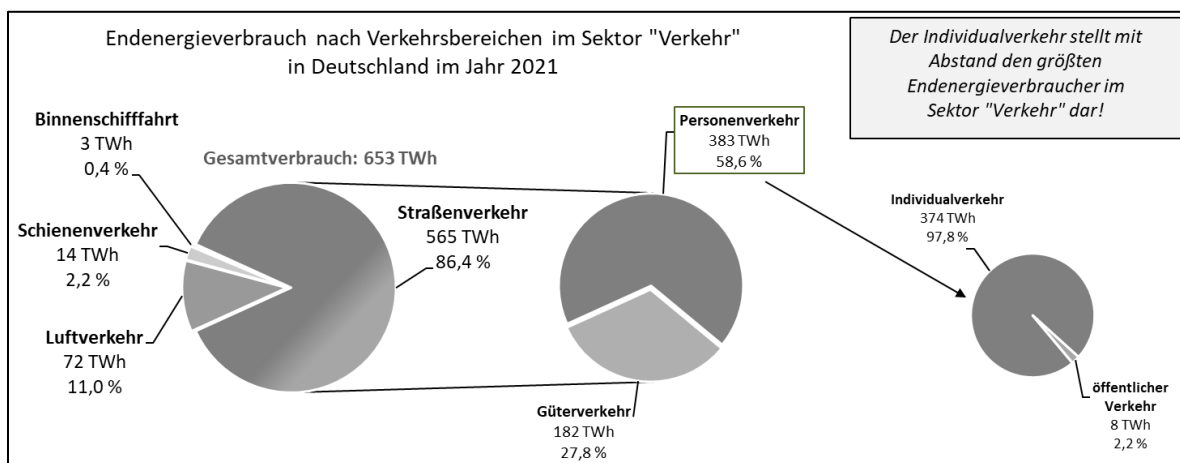


Abbildung 10: Endenergieverbrauch nach Verkehrsbereichen im Sektor „Verkehr“ in Deutschland im Jahr 2021.

Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 303; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.)

Neben der Aufschlüsselung in Verkehrsbereiche geht aus den Daten der Verkehrsstatistik der Anteil verschiedener Energieträger am Endenergieverbrauch des Sektors „Verkehr“ hervor (Abbildung 11). Demnach werden überwiegend fossile Kraftstoffe eingesetzt. Energieträger aus erneuerbarer Energie (bspw. Biomasse oder bedingt auch elektrischer Strom) spielen in diesem Sektor aktuell eine geringe Rolle.

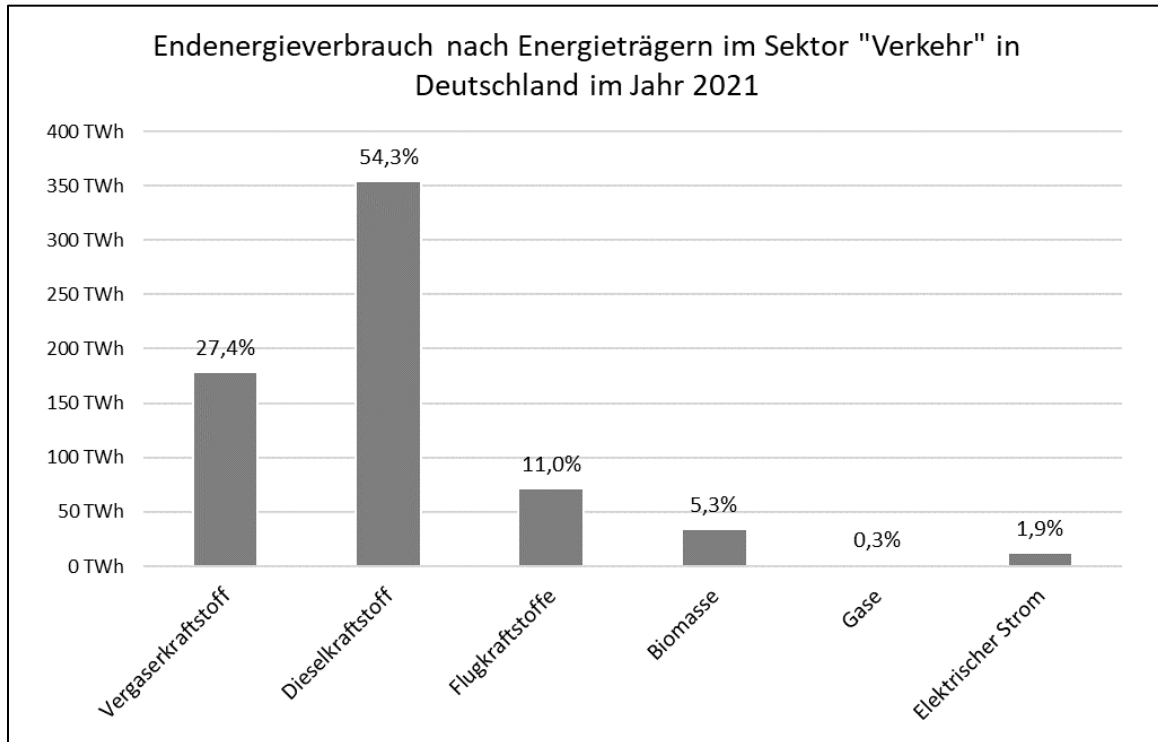


Abbildung 11: Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor "Verkehr" in Deutschland im Jahr 2021. Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 304; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.)

3.6 CO₂-Bilanz

Zunächst wurde die Treibhausgasbilanz auf Basis des ermittelten Strom- und Wärmebedarfes, der Mobilitätsbedarfe sowie der Anteile der jeweiligen Energieträger am Endenergiebedarf erstellt. Dabei wird für jeden Energieträger ein spezifischer CO₂-Emissionsfaktor ermittelt, das sogenannte CO₂-Äquivalent, das neben den direkten Emissionen (z. B. aus der Verbrennung von Erdgas) auch die vorgelagerten Bereitstellungsketten umfasst (Gewinnung und Transport des Energieträgers). Im CO₂-Äquivalent sind also alle klimawirksamen Emissionen enthalten, die für die Bereitstellung und Nutzung eines Energieträgers anfallen. In den CO₂-Äquivalenten sind neben den reinen CO₂-Emissionen auch die Treibhausgase N₂O und CH₄ berücksichtigt, welche auf die Klimawirksamkeit von Kohlendioxid normiert und im CO₂-Äquivalent verrechnet werden.

Die verwendeten CO₂-Äquivalente wurden mit Hilfe des Lebenszyklus- und Stoffstromanalyse-Modells GEMIS in der Version 4.9 ermittelt und sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die absoluten CO₂-Emissionen für die einzelnen Energieträger ergeben sich dann aus der eingesetzten Energiemenge multipliziert mit dem jeweiligen CO₂-Äquivalent. Für die Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung innerhalb des Betrachtungsgebiets, wird eine CO₂-Gutschrift in Höhe des CO₂-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 CO₂-Emissionen ergeben. Dies wäre in diesem Fall so zu interpretieren, dass gegenüber der durchschnittlichen Stromerzeugung in Deutschland anderorts, außerhalb des Bilanzgebiets, CO₂-Emissionen kompensiert werden.

Tabelle 1: Die CO₂-Äquivalente der jeweiligen Energieträger [GEMIS 4.9; KEA; Berechnungen IfE]

Energieträger	CO ₂ -Äquivalent (Direkt + Vorkette)
	[g/kWh _{End}]
Strom	558
Erdgas	244
Flüssiggas	271
Heizöl EL	313
Braunkohle	449
Biogas	90
Biomethan	111
Holzpellets	18
Hackschnitzel	14
Scheitholz	13
...angelehnt an Berechnungen der KEA BW	
Verkehr	300

Wie in Kapitel 3.3.2 bereits geschildert, werden Sekundärbrennstoffe (z.B. Abfall) nicht in die Energiebilanz des jeweiligen Territoriums inkludiert, was dementsprechend auch für die CO₂-Bilanz gilt. Zudem wurde in Abstimmung mit der Steuerungsrunde der thermische Bedarf eines industriellen Großverbrauchers im Landkreis nicht mit bilanziert.

- ➔ Aus dem Gesamtendenergieverbrauch und der Stromeinspeisung erneuerbarer Energien und KWK resultiert ein Ausstoß von rund 977.000 Tonnen CO₂ pro Jahr. Dies entspricht einem jährlichen Ausstoß klimawirksamer Gase von rund 7,5 Tonnen CO₂ pro Kopf.
- ➔ Der von der International Energy Agency (IEA) für Deutschland angegebene Vergleichswert wird für das Jahr 2021 mit 7,5 Tonnen CO₂/EW beziffert [IEA].

4 Potenzialanalyse

4.1 Grundannahmen und Vorgehensweise

Betrachtungszeitraum: Der angenommene Betrachtungszeitraum zur Ermittlung der Potenziale zu Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz erstreckt sich bis zum Zieljahr 2040. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich stets auf den Endzustand im Jahr 2040 (Ausbauziel) im Vergleich zum Ausgangszustand im Bilanzjahr 2021. Als Normierungsbasis dient der Zeitraum eines Jahres, d. h. alle Ergebnisse sind als Jahreswerte nach Umsetzung der Ausbauziele angegeben (z. B. jährlicher Energieverbrauch in MWh/a und jährliche CO₂-Emissionen in t/a).

Demographie / Struktur der Wirtschaft: Prinzipiell korreliert der Endenergiebedarf u. a. mit der Bevölkerungszahl, der Anzahl an Wohngebäuden oder der Anzahl und Art der Wirtschaftsbetriebe. Die prognostizierte Änderung des Bevölkerungsstandes oder der Betriebe im Betrachtungsgebiet liegt jedoch außerhalb der erzielbaren Genauigkeit der in diesem Gesamtenergiekonzept errechneten Bilanzen. Folglich kann nicht ausgeschlossen werden, dass die unvermeidbare Abweichung der errechneten Ergebnisse von den tatsächlichen zukünftigen Werten, die Effekte der demographischen Entwicklung egalisiert. Für die Ausarbeitung der Potenzialanalyse in den nachfolgenden Kapiteln wird ein gleichbleibender Bevölkerungsstand und eine gleichbleibende Anzahl und Art der Wirtschaftsbetriebe wie im Ist-Zustand angenommen.

Post-EEG-Anlagen: Ab dem Jahr 2021 endet für die ersten EE-Anlagen der frühen 2000er-Jahre die EEG-Förderung. Dies setzt sich in den darauffolgenden Jahren entsprechend fort, sodass eine jährlich zunehmende Zahl an EE-Anlagen-Betreibern keine feste EEG-Vergütung mehr erhalten wird. Sollte dann kein wirtschaftlicher Weiterbetrieb der Anlagen mehr möglich sein, müsste von deren Rückbau ausgegangen werden, was das Erreichen der Klimaneutralität in Bayern bis 2040 deutlich erschweren würde. Daher wird für die Potenzialanalyse angenommen, dass durch die Politik Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb der Post-EEG-Anlagen geschaffen werden, sodass in den Bilanzen dieses Gesamtenergiekonzeptes kein Rückbau von EE-Anlagen einkalkuliert wird.

4.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung

4.2.1 Private Haushalte

Für die Sanierungsvarianten im Wohngebäudebestand wurden die Berechnungen mit der Maßgabe einer ambitionierten, aber realistischen Sanierungsrate der Wohngebäudefläche von 2 % pro Jahr durchgeführt. Durch die Einsparmaßnahmen soll in diesem Szenario ein energetischer Stand von im Mittel rund 100 kWh/m² erzielt werden. Insgesamt könnten somit rund 20 % des Wärmeverbrauchs der Wohngebäude bis 2040 eingespart werden. Die hier zu Grunde gelegte Sanierungsrate und Sanierungstiefe liegt über dem Bundesdurchschnitt, könnte jedoch über entsprechende Informations-, Beratungs- und Fördermaßnahmen erreicht werden.

Der Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten trägt zu einer Reduzierung des Stromverbrauchs und somit auch zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei. Die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ erfolgt 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 eingespart werden können. In Summe kann der Stromverbrauch in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ bis zum Jahr 2040 um rund 25 % gemindert werden. Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombedarf für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombedarf wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.2.2 Kommunale Liegenschaften

Aus Sicht des Bundes kommt den Städten und Kommunen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen zu. Die Motivation zur eigenen Zielsetzung und Mitwirkung bei der Reduktion der CO₂-Emissionen für die Städte und 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 dem Auftraggeber erfolgt die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften“ 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 (rund 25%). Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombedarf für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombedarf wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.2.3 Gewerbe und Industrie

Da Unternehmen je nach Betrieb und Branche sehr unterschiedlichen Nutzungen unterliegen, kann eine genaue Analyse der Energieeinsparpotenziale nur durch eine ausführliche Begehung der Betriebe sowie der damit verbundenen, umfangreichen Datenerhebung erfolgen. Die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Gewerbe und Industrie“ erfolgt 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 (rund 25%). Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombedarf für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombedarf wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.2.4 Gebäudescharfes Sanierungskataster

Für die Entwicklung von Zukunftsstrategien für Sanierungsmaßnahmen und die Wärmeversorgungsstruktur bildet das Sanierungskataster Szenarien des künftigen Wärmebedarfs ab. Hierbei wurden die in den Verbrauchergruppen beschriebenen Einsparpotenziale kartografisch dargestellt.

Das Sanierungskataster bietet damit eine strategisch-technische Entscheidungsgrundlage für Netzausbaustrategien in Kommunen. Weiterhin bietet das Sanierungskataster Informationen zum Sanierungspotenzial einzelner Gebäude, die als Grundlage für die Identifikation baulicher Sanierungsgebiete mit energetischen Missständen dienen können. Maßnahmen, wie etwa die Erstellung von Quartierskonzepten, lassen sich daraus ableiten. Die Informationen zum Sanierungspotenzial können darüber hinaus in Aktivitäten zur Energie-Erstberatung einfließen und die Gestaltung kommunaler Förderprogramme stützen.

Erkenntnisse zu potenziellen Gebieten für weitere Wärmeverbundlösungen bzw. Maßnahmen zur Energieeinsparung wurden in den Maßnahmenkatalog (siehe Kapitel 6) überführt.



Abbildung 12: Anonymisierter Ausschnitt eines Sanierungskatasters vor und nach der Sanierung (Szenario: jährliche Sanierungsrate von 2% bis zum Jahr 2040)

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 (batterieelektrisch) 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 insgesamt an (siehe Abbildung 20).

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) wird zukünftig eine steigende Bedeutung in der Wärmeversorgungsstruktur in Deutschland erlangen. 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] entspricht dies rund einem Drittel aller Gebäude. → Dieses Ziel wird für das Entwicklungsszenario im Rahmen dieses Energienutzungsplans übernommen. Eine detaillierte Auffassung der Potenziale oberflächennaher Geothermie hinsichtlich Wärmepumpen wird in Kapitel 4.4.8 beschrieben.

Aufgrund der Ziele des Freistaats Bayern, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu sein [Bayerische Staatsregierung], wird von einer nochmaligen Steigerung der Anzahl an Wärmepumpen im Zeitraum 2030 bis 2040 ausgegangen. Somit wird im Rahmen dieses Energienutzungsplans im Jahr 2040 angesetzt, dass 50 % 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 konservativen Jahresarbeitszahl von 3 ausgegangen. Der zusätzliche erforderliche Strombedarf ist in Abbildung 20 dargestellt.

4.4 Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien

Basis für die Ausarbeitung der Potenzialanalyse erneuerbarer Energien 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. 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.

Das wirtschaftliche Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial ist der Teil des technischen Potenzials, der „unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen interessant ist“.

Der vorliegende Energienutzungsplan orientiert sich bei der Potenzialbetrachtung am **technisch-wirtschaftlichen 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 auf Dachflächen

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 Energiegewinnung genutzt werden, in erster Linie zur Warmwasserbereitung (Solarthermie) und Stromerzeugung (Photovoltaik).

4.4.1.1 Solarpotenzialkataster

Zur Analyse der Photovoltaik- und Solarthermiepoteziale auf Dachflächen wurde das gebäudescharfe Solarpotenzialkataster für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm ausgewertet (<https://www.solare-stadt.de/landkreis-pfaffenhofen/Solarpotenzialkataster>). 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 13: Auszug Solarpotenzialkataster für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm [Bildquelle: [https://www.solare-stadt.de/landkreis-Pfaffenhofen a. d. Ilm/](https://www.solare-stadt.de/landkreis-Pfaffenhofen-a.-d.-Ilm/)]

4.4.1.2 Solarthermie auf Dachflächen

Viele der für solare Nutzung geeigneten Dachflächen (siehe Solarkataster) können sowohl für die Installation von Solarthermieranlagen 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 praxisnahes Ausbausoll an Solarthermiefäche vorgeben zu können, wird als Randbedingung ein Deckungsziel des Warmwasserbedarfs in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ anvisiert. 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 $84.000 \text{ MWh}_{\text{th}}$ für die Wassererwärmung. Das angestrebte Deckungsziel wird auf 60 % festgelegt. Dies entspricht einem Energiebedarf von rund $50.600 \text{ MWh}_{\text{th}}$, der durch Solarthermie gedeckt werden soll. Um dies zu erreichen, werden insgesamt rund 101.000 m^2 an Kollektorfläche benötigt. Diese Fläche wird im Rahmen des Energienutzungsplans gleichzeitig als technisches Potenzial der Solarthermie definiert. Derzeit sind im Betrachtungsgebiet bereits Solarthermieranlagen mit einer Gesamtfläche von rund 39.500 m^2 installiert, sodass noch ein Ausbaupotenzial von rund 61.500 m^2 besteht. Das Ausbaupotenzial für Solarthermie auf Dachflächen beträgt somit 32.800 MWh .

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 rund 890.000 MWh/a. In Absprache mit den beteiligten Akteuren wurde ein Abzugsfaktor in Höhe von ca. 30% gewählt, welcher potenzielle Hemmnisse in der praktischen Umsetzung (z. B. aus statischen Gründen) berücksichtigt, woraus sich ein technisches Gesamtpotenzial in Höhe von rund 620.000 MWh/a ergibt.

Für das Energieszenario bis zum Jahr 2040 wird davon ausgegangen, dass rund 50% dieses technischen Gesamtpotenzials genutzt werden. Dies entspricht einer jährlichen Stromproduktion in Höhe von rund 310.000 MWh pro Jahr (ca. Faktor 2,5 der installierten Aufdach-Photovoltaik im Ist-Zustand).

4.4.2 Photovoltaik auf Freiflächen

Im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm sind bereits mehrere Freiflächen-Photovoltaikanlagen installiert bzw. in Umsetzung. Für die Prüfung weiterer Potenzialflächen wurde in enger Abstimmung mit der Steuerungsrunde und den einzelnen Kommunen des Landkreises ein Kriterienkatalog für Freiflächen-Photovoltaik als Schwerpunktprojekt im Energienutzungsplan ausgearbeitet und darauf basierend eine umfassende GIS-Analyse durchgeführt. Nähere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 7.1.

Für das Energieszenario 2040 wird in Abstimmung mit der Steuerungsrunde folgendes Ausbauziel herangezogen.

- PV-Freifläche auf insgesamt 1,5% der landwirtschaftlichen Nutzflächen
 - Dies entspricht rund 658 Hektar
 - Die prognostizierte Stromproduktion beläuft sich hierbei auf rund 658.000.000 kWh pro Jahr

4.4.3 Photovoltaik auf Parkplätzen

Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine GIS-Analyse für die Identifikation potenziell für Parkplatz-Photovoltaik geeigneter Parkplatzflächen im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm ausgearbeitet. Nähere Informationen sind in Kapitel 7.2 dargestellt.

Insgesamt konnten im Landkreis rund 100 Hektar an potenziell geeigneten Parkplatzflächen identifiziert werden. Bei einem Flächenbedarf von rund $6,5 \text{ m}^2/\text{kWp}$ würde dies einer Gesamtleistung an Photovoltaik in Höhe von 150 MW entsprechen. In Abstimmung mit der Steuerungsrunde wurde das Ziel angesetzt, dass davon bis zum Jahr 2040 rund 15% umgesetzt werden könnten. Hierdurch würde sich eine jährliche Stromproduktion in Höhe von 20.000.000 kWh ergeben.

4.4.4 Wasserkraft

Im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm wurden im Jahr 2021 insgesamt 128.000 MWh Strom aus Wasserkraft erzeugt. Ein Großteil hiervon wird durch das Laufwasserkraftwerk in Vohburg an der Donau produziert (Bahnstrom). Zur Analyse der Ausbaupotenziale im Bereich der Wasserkraft wurde die fachliche Einschätzung des Wasserwirtschaftsamtes eingeholt.

- Für neue Wasserkraftanlagen wird derzeit kein signifikantes Potenzial gesehen.
- Insbesondere bei älteren Anlagen wird jedoch ein Potenzial durch technische Optimierung gesehen. Bei zahlreichen älteren Anlagen ist aber noch keine ökologische Durchgängigkeit gegeben, die bei einer umfassenden technischen Optimierung (meist) gewährleistet werden müsste.
- Private Investitionen für diese technischen Optimierungen erfolgen daher nur selten → Betreibermodelle wie z.B. die Bürgerenergiegenossenschaft im Landkreis Pfaffenhofen könnten hierbei unterstützen, die notwendigen Investitionen für die technische Optimierung bzw. den einwandfreien Betrieb der Anlagen zu gewährleisten.
- In Summe kann davon ausgegangen werden, dass die Stromerzeugung aus „kleiner“ Wasserkraft konstant bleibt.

Für das Energieszenario im Jahr 2040 wird in Abstimmung mit der Steuerungsrunde festgelegt, dass die Stromproduktion aus Wasserkraft im Landkreis als konstant angesehen wird → rund 128.000.000 kWh pro Jahr.

4.4.5 Biomasse

4.4.5.1 Holz für energetische Nutzung

Der Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm weist eine Waldfläche von rund 18.500 ha auf. [Statistik kommunal Bayern]. Im Zuge der Berechnung des Gesamtwärmebedarfs aus Biomasse ist ersichtlich, dass der Landkreis bereits eine sehr hohe Nutzung aufweist (z.B. aufgrund vorhandener Biomasseheizkraftwerke).

Für die Potenzialermittlung wurde die Fachexpertise des Amts für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten eingeholt. Folgende wesentliche Ergebnisse wurden mit den Fachexperten abgestimmt:

- Insgesamt gibt es einen sehr hohen Anteil an Nadelholz (rund 75%).
- Über 75% des Waldbestands ist Privatwald → Im Privatwald zeigt sich im Mittel ein sehr hoher, teilweise zu hoher Holzvorrat (rund 400 m³/ha, als Idealwert werden rund 300 m³/ha angesehen). → Hierdurch besteht eine hohe Anfälligkeit für Schädlinge.
- Außerhalb des Privatwalds erfolgt bereits eine sehr hohe/gute Nutzung.
- Ziel muss es daher sein, die Potenziale im Privatwald zu heben. → Es wird empfohlen, den Zusammenschluss über Waldbesitzervereinigungen zu stärken und den Aufbau von Genossenschaften für den Betrieb von kleineren Biomasseheizanlagen in den Kommunen zu forcieren.

Insgesamt ist es sehr schwer, ein quantifizierbares Ausbaupotenzial für die energetische Holznutzung zu berechnen, da der Stoffstrom aufgrund von Import/Export des Rohstoffs nicht bekannt ist. Im Rahmen des Energienutzungsplans wird daher von einem pauschalen Ausbaupotenzial in Höhe von 10% ausgegangen.

4.4.5.2 Biogasanlagen / Biomasse-KWK

Im Ist-Zustand erzeugen die Biogasanlagen / Biomasse-KWK-Anlagen im Landkreis jährlich rund 77.000 MWh Strom und zusätzlich Abwärme, die zum Teil bereits als Wärmenutzung für die Gebäudebeheizung eingesetzt wird. Auch das Biomasseheizkraftwerk in der Stadt Pfaffenhofen mit seinem Fernwärmenetz wird in dieser Kategorie geführt. Zudem werden in der Biomethananlage in Wolnzach jährlich rund 50 Mio. bis 80 Mio. kWh an Biomethan erzeugt und in das Erdgasnetz eingespeist.

Für die Potenzialermittlung wurde die Fachexpertise des Amts für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten eingeholt. Folgende wesentliche Ergebnisse wurden mit den Fachexperten abgestimmt:

- Viele Biogasanlagenbetreiber prüfen gerade die Möglichkeiten zum Weiterbetrieb nach dem Auslaufen der EEG-Vergütung. Insbesondere die hohen bürokratischen Hürden und die Unsicherheiten der Netzeinspeise-Situation (bei Erhöhung der elektrischen Leistung aufgrund der Flexibilisierung) führen zu Hemmnissen.
- In einigen Regionen des Landkreises besteht bereits eine hohe Nutzung von Flächen für den Anbau von Energiepflanzen.
- Bei der Wärmenutzung aus Biogasanlagen wird noch ein Ausbaupotenzial gesehen. Eine sinnvolle Wärmenutzung (z.B. in Form von Wärmenetzen) führt auch zu einer Steigerung der Wertschöpfung und Akzeptanz vor Ort und kann den Einsatz fossiler Energieträger mindern. Es wird empfohlen, die Potenziale zur Abwärmenutzung der Biogasanlagen in den kommunalen Wärmeplänen der einzelnen Kommunen zu prüfen.
- Sollten Biogasanlagen in einem engen räumlichen Zusammenhang liegen, so könnte auch die Prüfung zum Aufbau einer Methanisierung anstatt der Verstromung vor Ort geprüft werden.
- Der Einsatz biogener Reststoffe sollte weiter forciert werden, um die ökologische Gesamtbilanz der Anlagen zu steigern. Hierfür läuft im Landkreis bereits ein Projekt zum Anbau von Silphie. Auch die bereits hohe Nutzung der Abfallprodukte aus dem Hopfenanbau in der Region kann als positives Beispiel aufgeführt werden.

Für das Energieszenario 2040 wird davon ausgegangen, dass die Stromproduktion aus Biogasanlagen und Biomasse-KWK Anlagen konstant bleibt (rund 77.000.000 kWh pro Jahr) → Strom aus Biogasanlagen stellt aufgrund seiner flexiblen Erzeugungsmöglichkeit einen wichtigen Bestandteil des regenerativen Strommixes im Landkreis dar. Im Bereich der Abwärmenutzung werden Ausbaupotenziale gesehen.

4.4.6 Abwärme

Abwärme im Sinne des hier betrachteten energetischen Potenzials bezieht sich auf Abwärme aus industriellen Prozessen. Über Wärmetauscher kann die ansonsten über entsprechende Kühler abgeführte Wärmemenge häufig abgegriffen und zum Beispiel für interne oder externe Heizzwecke genutzt werden.

In der Praxis stellen die häufig niedrigen Temperaturniveaus und die jährliche Verfügbarkeit der Abwärme eine Hürde dar. Meist wird die Abwärme in Unternehmen mit Abwärmepotenzial in den Wintermonaten bereits selbst zur eigenen Wärmeversorgung eingesetzt. Die übrigen Potenziale für mögliche weitere Abnehmer stehen dann häufig nur in den Sommermonaten (mit ohnehin wenig Heizwärmebedarf) zur Verfügung. Dennoch kann das „Abfallprodukt“ Abwärme vor allem in sinnvoller Kombination mit weiteren Wärmeerzeugern einen wertvollen Beitrag zur regenerativen Energieversorgung leisten.

Im Rahmen des Energienutzungsplans können Abwärmepotenziale vor allem auf Basis von Rückläufern aus der durchgeführten Befragung großer Industriebetriebe mittels Fragebogen identifiziert werden. Hierbei zeigt sich, dass einzelne Unternehmen im Landkreis über Abwärmepotenziale verfügen (aus datenschutzrechtlichen Gründen darf eine Benennung im Rahmen dieses Abschlussberichts nicht erfolgen). Diese Informationen sind in das dem Energienutzungsplan zu Grunde liegende GIS eingetragen und können für künftige Planungen (z.B. kommunale Wärmeplanung) als wertvolle Information herangezogen werden. Im Maßnahmenkatalog für die einzelnen Kommunen sind zudem mögliche Abwärmequellen benannt.

4.4.7 Windkraft

Das „Wind-an-Land-Gesetz“ weist Quoten für die einzelnen Bundesländer auf, welcher prozentuale Anteil der Landesfläche für die Errichtung von Windkraftanlagen auszuweisen sind. Für Bayern lauten diese 1,1 Prozent der Landesfläche bis 2027 und 1,8 Prozent der Fläche bis Ende 2032. Zuständig hierfür sind die 18 regionalen Planungsverbände in Bayern. Sollten diese Ziele nicht erreicht werden, hält sich der Bund eine vollständige Privilegierung von Windkraftanlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) vor.

Um den deutlich gestiegenen Ausbauzielen des Bundes nachzukommen, wurde im Jahr 2022 die Bayerische Bauordnung (BayBO) mit einigen Ausnahmefällen für die 10-H-Regel versehen. So wird beispielsweise in Waldgebieten, entlang von Autobahnen und Bahnlinien oder auch rund um Industriegebiete der Mindestabstand von 10-H (entspricht i.e. 2.000 – 2.500 m) auf 1.000 m reduziert. Dies öffnet auch im Landkreis Pfaffenhofen a.d. Ilm eine deutlich größere Gebietskulisse für die Windenergie. Die Steuerung des Windkraftausbaus ist entsprechend über die Regionalplanung möglich.

Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Potenzialanalyse zur Identifizierung von technisch-wirtschaftlich potenziell geeigneten Flächen erstellt. Hierfür wurde im ersten Schritt auf die „Gebietskulisse Windkraft“ des Bayerischen Landesamts für Umwelt zurückgegriffen. Die Gebietskulisse Windkraft bietet eine Erstbewertung aus umweltfachlicher Sicht hinsichtlich ihrer Eignung als Potenzialflächen zur Windenergienutzung. Sie ersetzt nicht die immissionsschutzrechtliche Genehmigung und ein etwaiger Rechtsanspruch lässt sich daraus nicht ableiten. Kombiniert wurden die immissions- und umweltfachlichen Restriktionsflächen mit den neuen Abstandsregelungen gemäß BayBO und dem technischen Faktor, der sogenannten Windleistungsdichte. In der Praxis lässt sich ein Wert von mindestens rund 200 W/m^2 in einer Höhe von 160 m als Orientierung für ein ausreichendes Windangebot zur Realisierung eines Windkraftprojekts annehmen. Prognosen für die vorherrschende Windleistungsdichte werden vom LfU veröffentlicht, sie ersetzen aber keine Messung am jeweiligen Standort. Um geeignete Standorte für Windkraftanlagen festlegen zu können, wird die mittlere Windleistungsdichte in 160 m Höhe analysiert und daraus eine Standortgütekarte entwickelt. Diese ist in nachfolgender Abbildung 14 dargestellt.

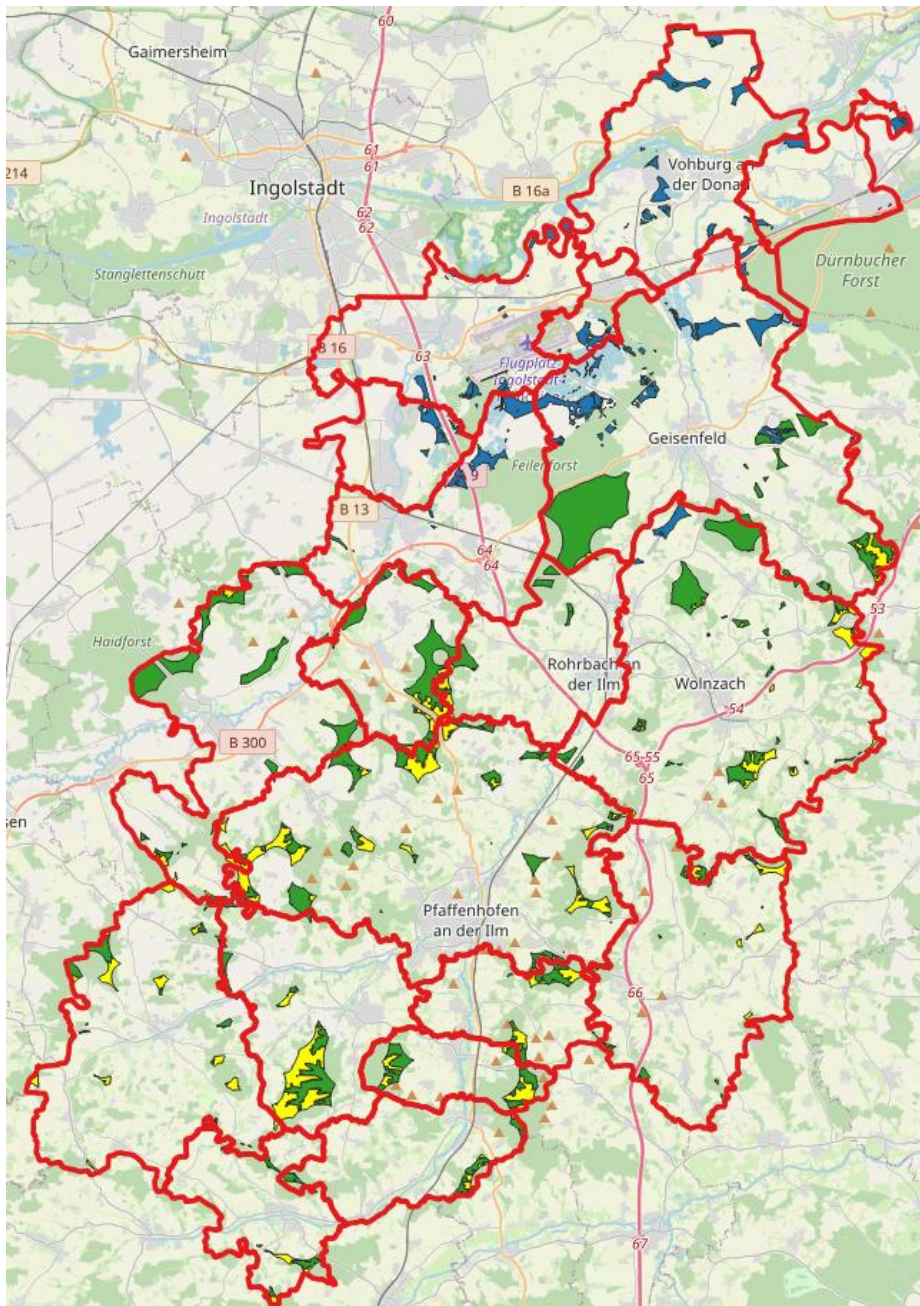


Abbildung 14: Auszug der Potenzialgebiete für Windkraft [Open Street Map, eigene Bearbeitung]

Im nächsten Schritt wurden die als technisch-wirtschaftlich potenziell geeigneten Flächen mit dem bestehenden Teilflächennutzungsplan Windkraft im Landkreis Pfaffenhofen a.d. Ilm aus dem Jahr 2015 verglichen und in den Regionalkonferenzen mit allen Kommunen des Landkreises abgestimmt. Die Gespräche in den Regionalkonferenzen zeigen, dass sich nahezu alle Kommunen des Landkreises mit dem Thema Windkraft beschäftigen. Insbesondere aufgrund des Fliegerhorsts Ingolstadt-Manching im Norden des Landkreises (militärische Nutzung und zivile Mitnutzung) sowie dem Flughafen München in räumlicher Nähe zu den südlichen Kommunen des Landkreises, herrschen noch Unsicherheiten zu den tatsächlich genehmigungsfähigen Potenzialgebieten.

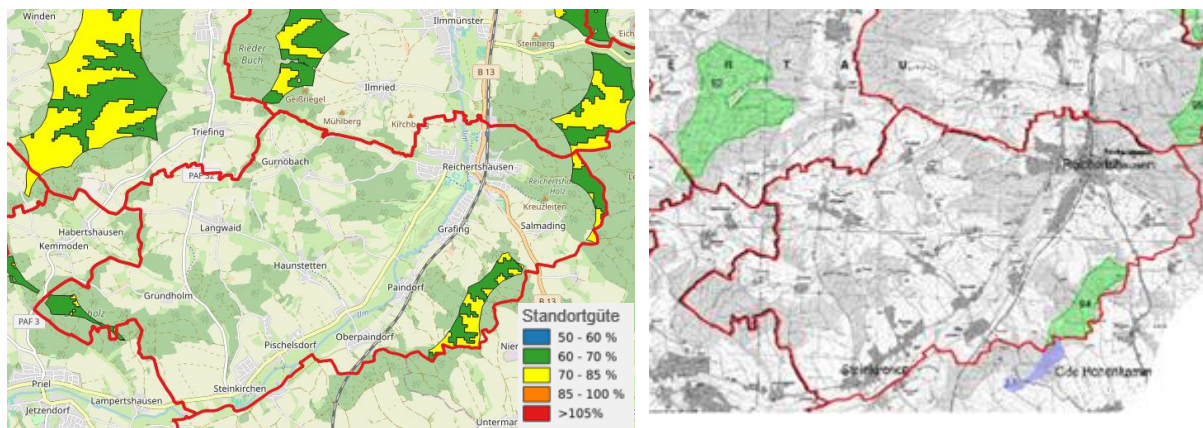


Abbildung 15: Windkraft: Auszug der Potenzialanalyse im Energienutzungsplan (links) und dem Teilflächennutzungsplan Windkraft aus dem Jahr 2015 (rechts)

Für das Energieszenario 2040 wird von einer Installation von insgesamt 45 Windkraftanlagen à 6 MW Leistung im Landkreis ausgegangen (Repowering Bestandsanlagen und neue Anlagen insgesamt). Die jährliche Stromproduktion dieser Anlagen wird auf rund 513.000 MWh prognostiziert.

4.4.8 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

Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Nutzung der Erdwärme in bis zu 400 Metern 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.

Die Tiefengeothermie nutzt Erdwärme auf hohem Temperaturniveau in Tiefen ab 400 Metern. Eine nähere Betrachtung sowie eine Quantifizierung des Potenzials im Rahmen des Energienutzungsplans wurden nicht vorgenommen.

Potenzialermittlung oberflächennahe Geothermie

Zur Ermittlung der Potenziale oberflächennaher Geothermie wurde auf hydrogeologische Daten des Geologischen Dienstes des Landesamtes für Umwelt zurückgegriffen. In Abbildung 16 ist die Standortteignung für oberflächennahe Geothermie im Landkreis dargestellt [LfU Bayern]. Sie zeigt einen Ausschnitt der Eignung für verschiedene Formen der oberflächennahen Geothermie in Verbindung mit der Darstellung des Wärmebedarfs in Form einer Heatmap. Es zeigt sich, dass viele Gebiete grundsätzlich für die Nutzung oberflächennaher Geothermie geeignet erscheinen. Der Großteil des Landkreisgebiets ist auf den ersten Blick für die Nutzung von Erdwärmekollektoren und -sonden geeignet.

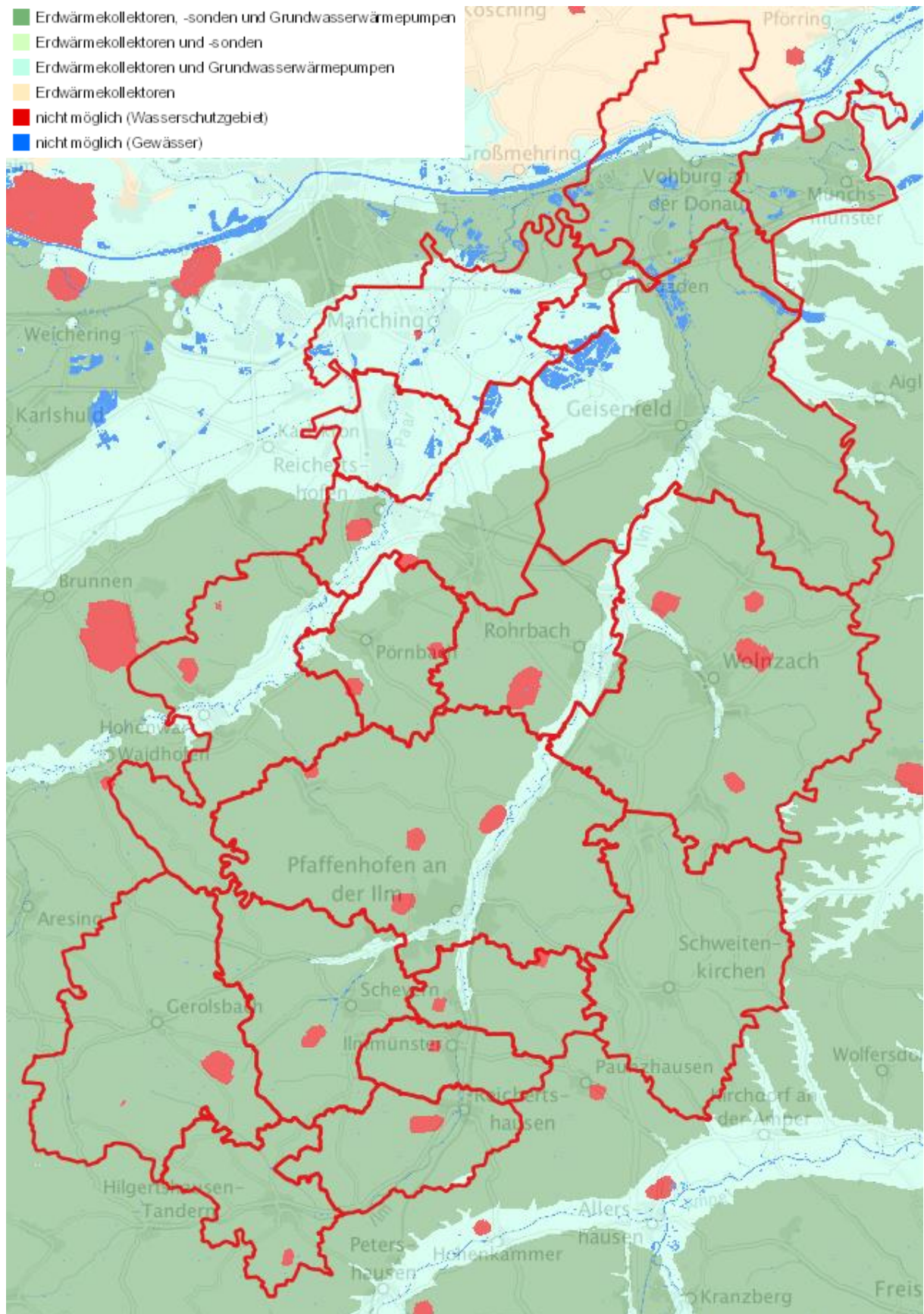


Abbildung 16: Standorteignung oberflächennahe Geothermie (LfU Bayern; eigene Bearbeitung)

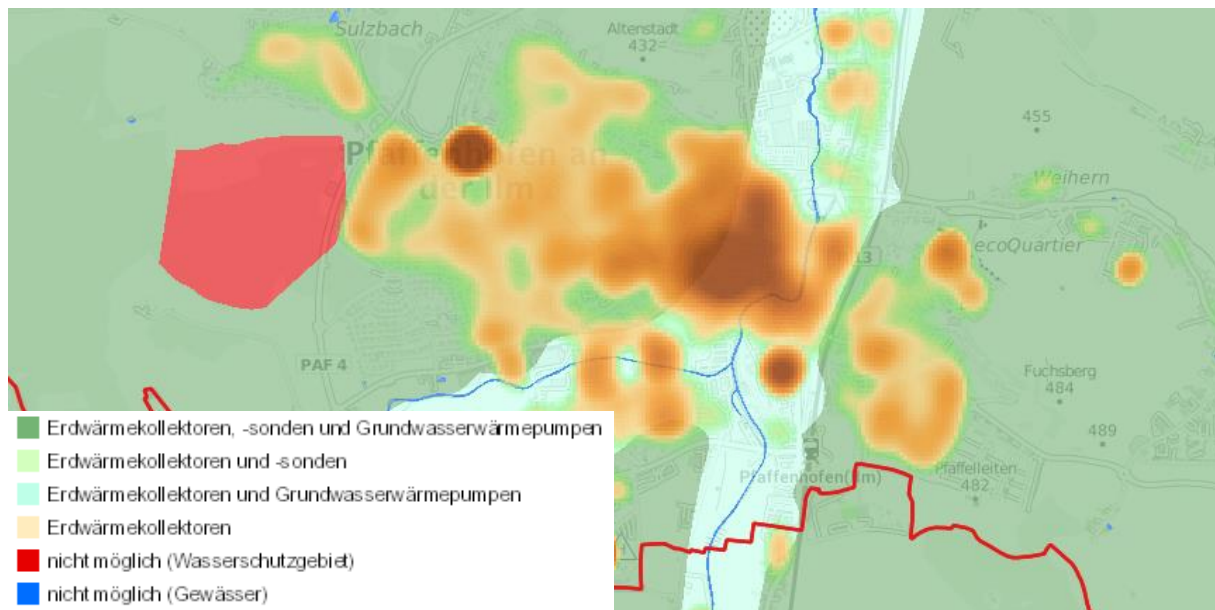


Abbildung 17: Standorteignung oberflächennahe Geothermie mit Verschneidung des Wärmebedarfs in Form einer Heatmap (LfU Bayern; eigene Bearbeitung)

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. Hinzu kommen noch andere Einflussfaktoren, wie zum Beispiel die Beeinflussung anderer Anlagen auf den Nachbargrundstücken. Deshalb wurde auf die Ausweisung bzw. Quantifizierung eines Gesamtausbaupotenzials verzichtet, da für den Einsatz oberflächennaher Geothermie immer eine Einzelfallprüfung auf Basis der tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort notwendig ist.

Geothermie ist eine Form der Umweltwärme, die für den Betrieb von Wärmepumpen genutzt werden kann. Der Einsatz von Wärmepumpen kann künftig einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der CO₂-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 Heizöl und Erdgas zu mindern (siehe Kapitel 4.3.2). Der weitere Ausbau von Wärmepumpensystemen könnte z. B. über Informationskampagnen forciert werden.

4.4.9 Kraft-Wärme-Kopplung

KWK-Anlagen wandeln den eingesetzten Brennstoff (bisher meist Erdgas) mit bis zu 90% in nutzbare Wärme und Strom um. Auf diese Weise tragen sie zu einer ressourcenschonenderen Energieversorgung bei. Auf Basis der Datenerhebung im Bereich Gewerbe/Industrie konnten Informationen zur Nutzung im Ist-Zustand identifiziert und analysiert werden. Diese sind im GIS eingetragen.

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 gefördert werden (insbesondere in Industriebetrieben mit gleichzeitig hohem Wärme- und Strombedarf). Eine Quantifizierung des Potenzials ist im Rahmen des Energienutzungsplans nicht möglich, jedoch wurde für die Ausarbeitung des Entwicklungsszenarios davon ausgegangen, dass sich die klassischen, fossil betriebenen KWK-Anlagen langfristig auf regenerative Basis umstellen bzw. ersetzt werden (z.B. durch Wasserstoff).

4.5 Potenzialanalyse Klimawandelanpassung

Gründächer binden Feinstaub sowie Kohlendioxid und halten durch ihr Wasserrückhaltevermögen Niederschlag zurück, was zu einer Reduktion von Abflussspitzen bei Starkregenereignissen führen kann.

Das Gründachkataster (<https://www.solare-stadt.de/landkreis-pfaffenhofen/gruendachpotenzialkataster>) des Landkreises Pfaffenhofen an der Ilm gibt einen Einblick in die nachträgliche Begrünung von vorhandenen Dachflächen. Grundlage für das Gründachkataster sind Laserscandaten aus dem Jahr 2013, die beim Überfliegen des jeweiligen Untersuchungsgebietes generiert wurden. Die Beurteilung der Eignung einer Dachfläche für eine Dachbegrünung wird hauptsächlich durch den Aspekt der Neigung bestimmt. Hierzu sind die Dachflächen mit einer Mindestgröße von 10 m² in die drei Kategorien: geeignete Dachflächen mit einer Neigung bis 5°, geeignete Flächen mit einer Neigung von 5 bis 15° und geeignete Flächen mit einer Neigung von 15 bis 30° unterteilt. Dachflächen, die mehr als 30° geneigt sind, sind als ungeeignet klassifiziert und damit nicht in der Potenzialanalyse berücksichtigt. Eine statische Beurteilung der Dachflächen findet bei der Berechnung der Potenzialflächen nicht statt.

Insgesamt eignet sich im Landkreis Pfaffenhofen an der Ilm eine Fläche von rund 2.970.000 m² für eine Dachbegrünung, wovon 57 % der untersuchten Dachflächen der Kategorie Dachflächen mit einer Neigung bis 5° zuzuordnen ist.

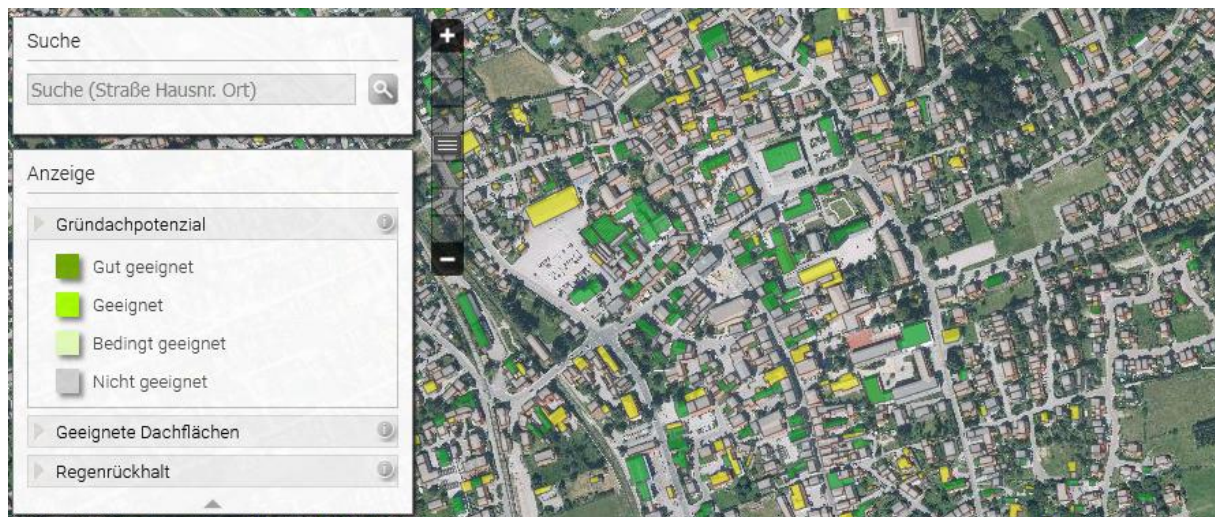


Abbildung 18: Auszug Gründachkataster für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm [Bildquelle: <https://www.solare-stadt.de/landkreis-pfaffenhofen/gruendachpotenzialkataster/>]

Bei der Dachbegrünung wird zwischen der extensiven und der intensiven Begrünung differenziert. Bei der extensiven Dachbegrünung werden trockenheitsresistente, niedrigwüchsige Bepflanzungen, die eine geringe Pflege benötigen, verwendet. Extensive Begrünungen lassen sich auf Flachdächern und in Ausnahmen auf Dächern mit einer Neigung von bis 45° realisieren. Intensive Dachbegrünungen können als Dachgärten genutzt werden, welche als Garten- oder Erholungsort dienen können. Für die intensive Begrünung ist eine Substratdicke von mindestens 25 cm notwendig. Die dickere Substratschicht ermöglicht die Pflanzung von Stauden, Gehölzen sowie Bäumen. Diese Art der Begrünung ist in der Regel nur auf Flachdächern mit einer Neigung bis 5° sinnvoll.

Das Gründachkataster konzentriert sich auf die nachträgliche Begrünung bestehender Dachflächen, weshalb davon ausgegangen wird, dass die statischen Anforderungen in der Regel für eine Substratdicke von maximal 30 cm ausreichen. Bei der nachträglichen Begrünung bestehender Dachflächen wird überwiegend eine extensive Dachbegrünung bzw. eine einfach intensive Dachbegrünung installiert. Im Rahmen der Potenzialanalyse wird von einer ausschließlich extensiven Begrünung ausgegangen.

Die Retentionsfähigkeit oder Wasserrückhaltekapazität ist die Fähigkeit, auftreffendes Wasser zu speichern und somit den Abfluss zu verringern. Die Retentionsleistung hängt von der Dicke der Substratschicht sowie der Neigung des Daches ab. Je dicker die Substratschicht ist, desto größer ist die Retentionsleistung. Mit zunehmender Neigung erhöht sich die Abflussgeschwindigkeit des Wassers, was zu einer Verringerung der Retentionsleistung führt. Die Ermittlung des Regenwasserrückhaltevermögens erfolgt in Anlehnung an die Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen

der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL). Der potenziell vermiedene Oberflächenabfluss wurde auf Basis der Starkniederschlagshöhen in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer und der Jährlichkeit vom Deutschen Wetterdienst ermittelt. In Abbildung 19 sind die summierten Potenzialwerte der Retentionsleistung für den gesamten Landkreis Pfaffenhofen an der Ilm für eine vollständige extensive Begrünung der Dachflächen dargestellt.

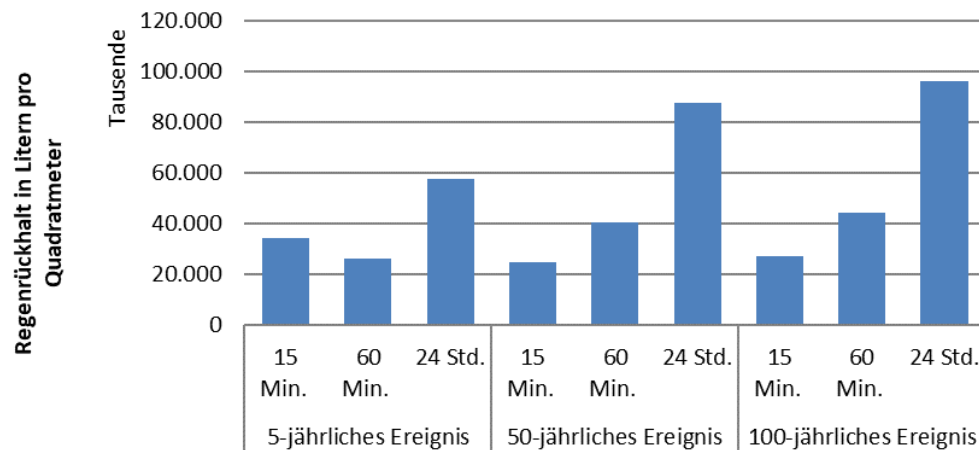


Abbildung 19: Potenzialergebnis für die Retentionsleistung im Landkreis Pfaffenhofen an der Ilm

Gründächer haben die Fähigkeit, sowohl CO₂ aufzunehmen als auch Feinstaub zu binden. Bei einem angenommenen CO₂- und Staubbindingspotenzial von 0,76 kg/m² ergibt sich für den gesamten Landkreis Pfaffenhofen an der Ilm für eine vollständige extensive Begrünung der Dachflächen eine CO₂- und Staubbinding von rund 2.300 Tonnen pro Jahr.

5 Energieszenario 2040

Basierend auf der Analyse der energetischen Ausgangssituation (siehe Kapitel 3) und der Potenzialanalysen (siehe Kapitel 4) wurden, als ein Schwerpunktprojekt im Energienutzungsplan, strategische Szenarien für Strom, Wärme und Mobilität erarbeitet, aus denen Handlungsoptionen und der Entwicklungspfad zur Senkung des Energieverbrauchs und für den Ausbau erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2040 abgeleitet werden können. Das Energieszenario 2040 stellt zugleich die Zusammenfassung der Ergebnisse aus den vorangegangenen Kapiteln dar. Anhand der Analyse und Zielsetzung können konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Abbildung 20 zeigt die Energiebedarfs-Seite sowie die Auswirkung der in Kapitel 4 geschilderten Einspar- und Transformationsprozesse vom Ist-Zustand im Jahr 2021 (linker Balken) über das Jahr 2030 (mittlerer Balken) bis hin zum Zieljahr 2040 (rechter Balken). Die resultierende Einsparung basiert zum einen auf den berechneten Energieeinsparpotenzialen (z. B. durch Gebäudesanierungen) und zum anderen auf den beschriebenen Transformationsprozessen (E-Mobilität, Power-to-Heat). Durch die verstärkte Elektrifizierung der Sektoren steigt jedoch der künftige Strombedarf (wertvollste Energieform!).

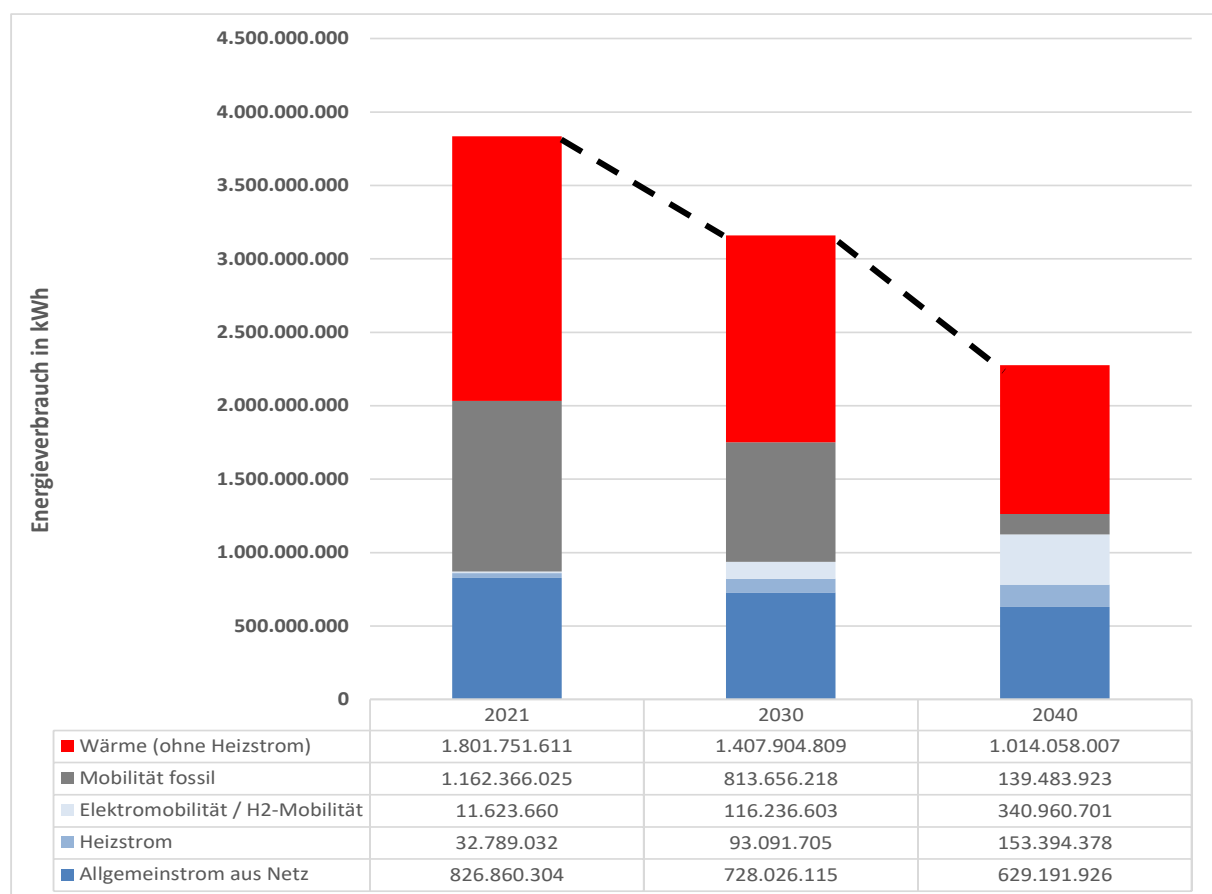


Abbildung 20: Energieszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung

Zum Erreichen einer bilanziellen Eigenversorgung aus regenerativen Energien bis zum Jahr 2040 gilt es, den aufgezeigten Bedarf im Jahr 2040 vollständig durch Erschließung der eigenen Potenziale zu decken. In Abbildung 21 ist entsprechend der Ausbau der in Kapitel 4.4 ermittelten Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien dargestellt. Es ist ersichtlich, dass, gemäß diesem Entwicklungsszenario, eine Zunahme von rund 872.000 MWh im Ist-Zustand auf rund 2.287.000 MWh im Jahr 2040 erfolgen würde. Dies ist zum Großteil auf den weiteren Ausbau von PV-Aufdachanlagen, PV-Freiflächenanlagen und der Windkraft zurückzuführen.

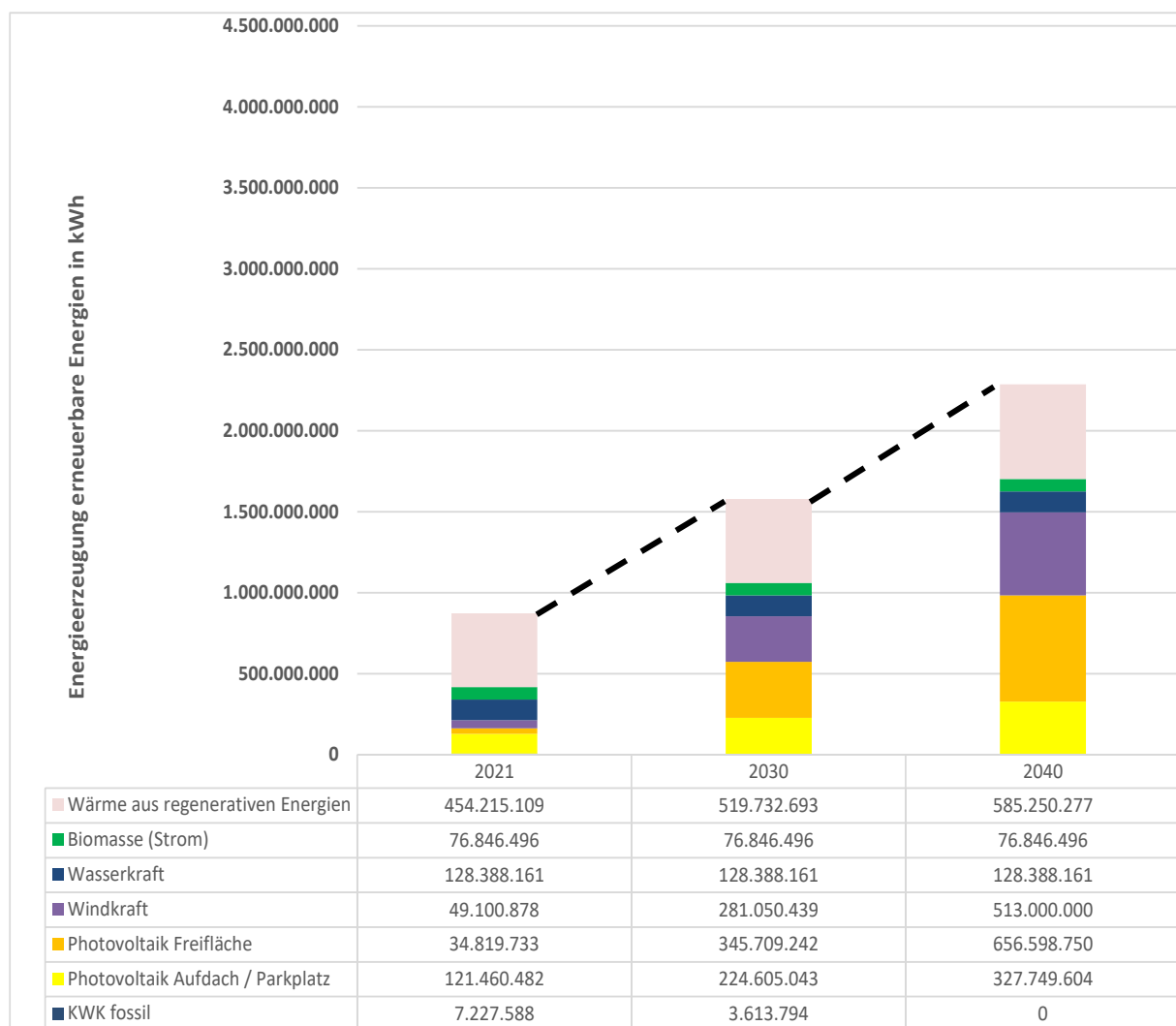


Abbildung 21: Energieszenario 2021 bis 2040 - Ausbauszenario erneuerbarer Energien im Strombereich

Den Bedarf (Abbildung 20) und die Erzeugung (Abbildung 21) im Jahr 2040 herausgegriffen und gegenübergestellt, ergibt sich das in Abbildung 22 dargestellte Verhältnis aus den jeweiligen Verbrauchssektoren und den regenerativ, regional bereitgestellten erneuerbaren Energie-Mengen. Hierbei geht deutlich hervor, dass bei Ausschöpfung des Potenzials an erneuerbaren Energien (rechte Säule) eine insgesamt bilanzielle Eigenversorgung der Energiebedarfe im Jahr 2040 (linke Säule) möglich wäre.

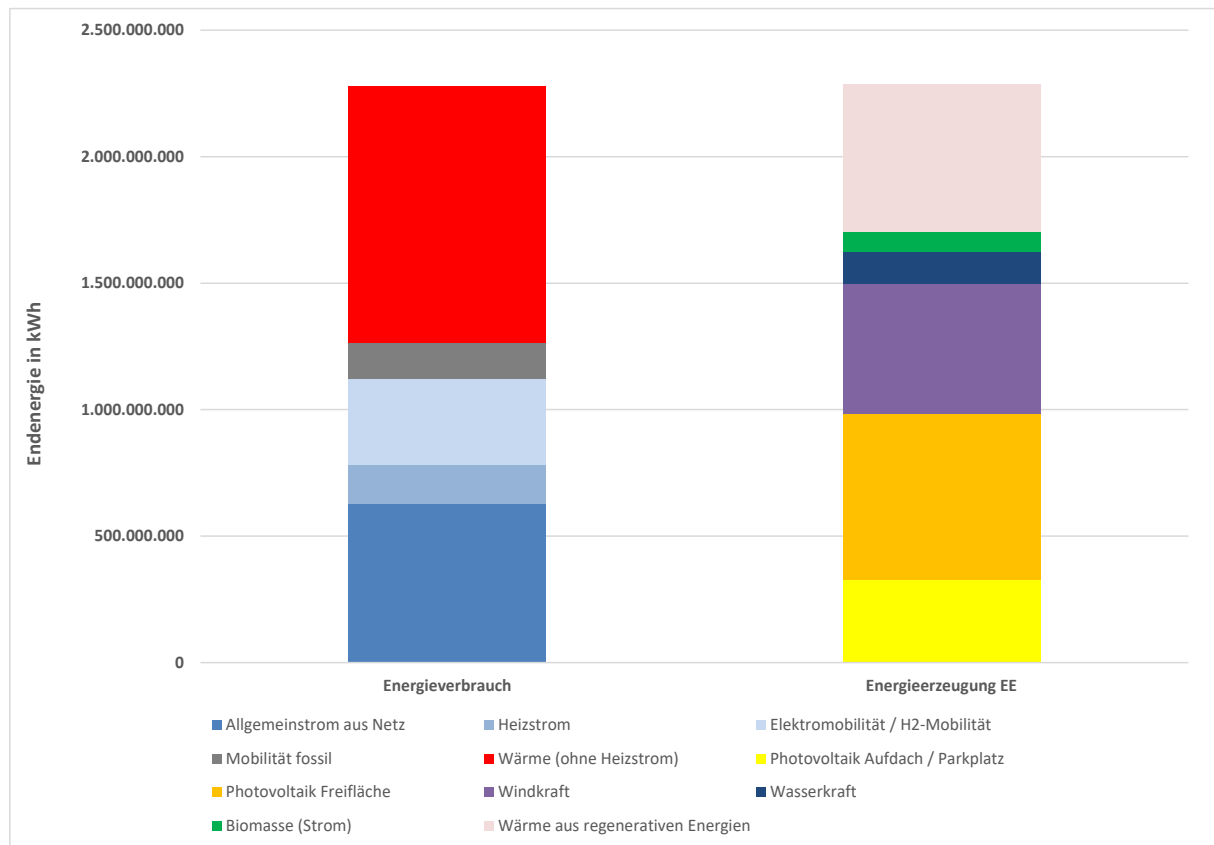


Abbildung 22: Energieszenario im Jahr 2040 – Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energien im Jahr 2040

Wichtige ergänzende Hinweise zum Energieszenario 2040

Das Energieszenario 2040 beinhaltet eine rein bilanzielle Betrachtung, keine Autarkiebetrachtung. Um eine möglichst hohe Eigenversorgung zu erreichen, ist zwingend die ergänzende Installation von Speichern erforderlich (Kurzzeit-Stromspeicher zum Ausgleich von Tag/Nacherzeugung und z.B. Wasserstoff als Langfristspeicher zum Ausgleich Sommer/Winter). Zudem ist der Ausbau der Netzinfrastruktur zur Einbindung der hohen Mengen an erneuerbaren Energien zwingend erforderlich, weshalb eine enge Abstimmung mit allen Netzbetreibern empfohlen wird. Eine entsprechend sinnvoll aufgebaute dezentrale Erzeuger- und Speicherstruktur sowie ein optimiertes Lastmanagement hilft, den dennoch zwingend erforderlichen Ausbau der Netzinfrastruktur zu minimieren.

6 Maßnahmenkatalog

Ein Kernziel des digitalen Energienutzungsplans ist die Erstellung eines umsetzungsorientierten und praxisbezogenen Maßnahmenkatalogs, der konkrete Handlungsempfehlungen für die einzelnen Kommunen des Landkreises aufzeigt. Die Maßnahmenkataloge wurden individuell mit jeder Kommune, während der Regionalkonferenzen ausgearbeitet und abgestimmt. Sie können zum Teil personenbezogene Daten und Informationen enthalten und sind daher zusammen mit den Gemeindesteckbriefen im nicht-öffentlichen Teil des Abschlussberichts enthalten.

Hinweise zum kommunenscharfen Maßnahmenkatalog:

- *Die Auflistung möglicher Maßnahmen für kommunale Liegenschaften stützt sich auf den Datenerhebungsbogen der einzelnen Gebäude, die von den einzelnen Kommunen übermittelt wurden. Es erfolgte keine Vor-Ort Begehung, die für eine fundierte Einschätzung und Priorisierung der Maßnahmen zwingend erforderlich wäre. Daher wird die Vor-Ort Besichtigung durch einen Energieberater empfohlen.*
- *Im Rahmen des Energienutzungsplans erfolgte die Ausarbeitung einer Gesamtstrategie zum Erreichen einer bilanziellen Klimaneutralität im Landkreis bis zum Jahr 2040. Diese Gesamtstrategie wurde nicht für jede einzelne Kommune heruntergebrochen. Diese kommunenscharfe Quantifizierung der Ausbauziele muss auf Basis der Erkenntnisse im Energienutzungsplan im Nachgang interkommunal abgestimmt werden (welche Kommune muss welchen Beitrag mit welcher Form erneuerbarer Energien leisten, damit das Gesamtziel der bilanziellen Energieneutralität im Landkreis erreicht wird).*

7 Schwerpunktprojekte

7.1 Erstellung eines Kriterienkatalogs für PV-Freiflächenanlagen

7.1.1 Zielsetzung

Im Rahmen des Landkreis-Energienutzungsplans wurde ein Kriterienkatalog in enger Abstimmung mit der Steuerungsrunde und den Kommunen des Landkreises ausgearbeitet. Der Kriterienkatalog zeigt (anhand gemeinsam abgestimmter Kriterien) potenzielle Flächen für die Installation von PV-Freiflächenanlagen im Landkreis 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.

Mit diesem Kriterienkatalog und der darauf basierenden GIS-Analyse wurde die Basis für die einzelnen Kommunen geschaffen, mit möglichst geringem Aufwand eine individuelle Anpassung für ihr eigenes Hoheitsgebiet durchzuführen und den dann angepassten Kriterienkatalog verbindlich in der Kommune einzusetzen. Hierdurch kann eine transparente Entscheidungsgrundlage für die Öffentlichkeit, Grundeigentümer, sonstige eingebundene Akteure sowie die Antragsteller bzw. Betreiber von Photovoltaik-Freiflächenanlagen geschaffen werden.

7.1.2 Projektablauf und Einbindung der Akteure

Die Entwicklung des Kriterienkatalogs erfolgte in den nachfolgenden Projektphasen:

- Abstimmung der grundsätzlichen Zielsetzung und Vorgehensweise in der Steuerungsrunde und in einer Bürgermeisterdienstversammlung
- Ausarbeitung eines Blanko-Kriterienkatalogs mit Vorschlägen für potenzielle Kriterien
- Individuelle Festlegung der Kriterien im Blanko-Kriterienkatalog durch die einzelnen Kommunen
- Ausarbeitung eines Kriterienkatalogs, der die Mehrheitseinschätzung der einzelnen Rückmeldungen der Kommunen aufzeigt (Beispiel: wenn 5 Kommunen ein Kriterium mit ja beantwortet haben und 2 Kommunen mit nein, dann ist das Kriterium mit ja aufgenommen worden)
- Überführung sämtlicher Kriterien in das GIS
- Prüfung von privilegierten Flächen gemäß §35 Baugesetzbuch
- Ausarbeitung einer Übersichtskarte mit Darstellung der potenziell geeigneten Flächen für Freiflächen-Photovoltaik (aus dem Kriterienkatalog und aus den privilegierten Zonen)

7.1.3 Ergebnisse

Nachfolgend sind die einzelnen Kriterien des Kriterienkatalogs gemäß der Mehrheitseinschätzung der Kommunen dargestellt.

Ausschlusskriterien für PV-Freiflächenanlagen

Schutzgebiete des Naturschutzes (LfU): Naturschutzgebiete, Nationale Naturmonumente, Biosphärenreservate
Amtlich kartierte Biotope (LfU): Geschützte Biotope (gemäß §30 BNatSchG und Art.23 BayNatSchG)
Wiesenbrüter- und Feldvogelkulissee (LfU): Flächen, die von Wiesenbrütern oder Feldvögeln als Lebensräume genutzt werden
Festgesetzte oder vorläufig gesicherte Überschwemmungsgebiete
Boden- und Geolehrpfade einschl. deren Stationen und Geotope
Flächen in Wasserschutzgebieten (LfU): Trinkwasserschutzgebiete, Heilquellenschutzgebiete
Risikobehaftete Gebiete für Geogefahren (LfU): Dolinen, Erdfälle, Steinschlag, Erdbeben, Senkungsgebiete, etc. Mindestabstand: 50 m
Landschaftsschutzgebiete
Schutzgebiete zur Erhaltung gefährdeter oder typischer Lebensräume und Arten (Natura 2000): Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete

Kriterien mit Einzelfallprüfung für PV-Freiflächenanlagen

Mindestabstand zu Siedlungsflächen mit Wohnbebauung und gemischt genutzter Bebauung 300m Ausnahme: Nicht einsehbare Flächen oder wenn Einverständniserklärung aller betroffenen Gebäudeeigentümer vorliegt
Landwirtschaftliche Böden überdurchschnittlicher Bonität (Ackerzahl)
Ökoflächenkataster (LfU): Rechtlich festgesetzte Ausgleichs- und Ersatzflächen
Bodendenkmäler
Gebietsumgriff landschaftsprägende Denkmäler (LfU): Besonders bedeutende oder weithin einsehbare Landschaftsteile wie landschaftsprägende Höhenrücken, Kuppen und Hanglagen
Vorranggebiete für Bodenschätze
Vorranggebiete für Windkraft

Sonstige Kriterien, die eingehalten werden müssen

Bürgerbeteiligung an der regionalen Wertschöpfung
Vorlage eines Informations- und Kommunikationskonzeptes für die Bürger (z.B. Informationsveranstaltungen)
Eine Natur- und Artenschutz fördernde <u>bauliche Umsetzung</u> der Anlage (Vorlage eines Natur- und Artenschutzkonzeptes)
Eine Natur- und Artenschutz fördernde <u>Bewirtschaftung</u> der Anlage (Vorlage eines Natur- und Artenschutzkonzeptes)
Finanzielle Sicherheit des Antragstellers / Investors vorab zu erbringen (auch für Rückbau und Entsorgung) <ul style="list-style-type: none"> - Bürgschaft - Liquiditätsnachweis - Bonitätsnachweis
Schriftliche Einspeisezusage des Netzbetreibers
Bestätigung über Anbindung der Anlage an das Stromnetz per Erdverkabelung
Bauleitplanung, Gutachten, Rechtsanwaltskosten, Netzanschlusskosten etc. sind auf jeden Fall vom Betreiber/Investor zu tragen
Verpflichtung zum Rückbau
Bevorzugung von Agri PV Anlagen

Auf Basis der Kriterien wurde eine GIS-Analyse durchgeführt. Nachfolgend ist zunächst ein Auszug der sich anhand der definierten Kriterien ergebenden Restriktionsflächen.

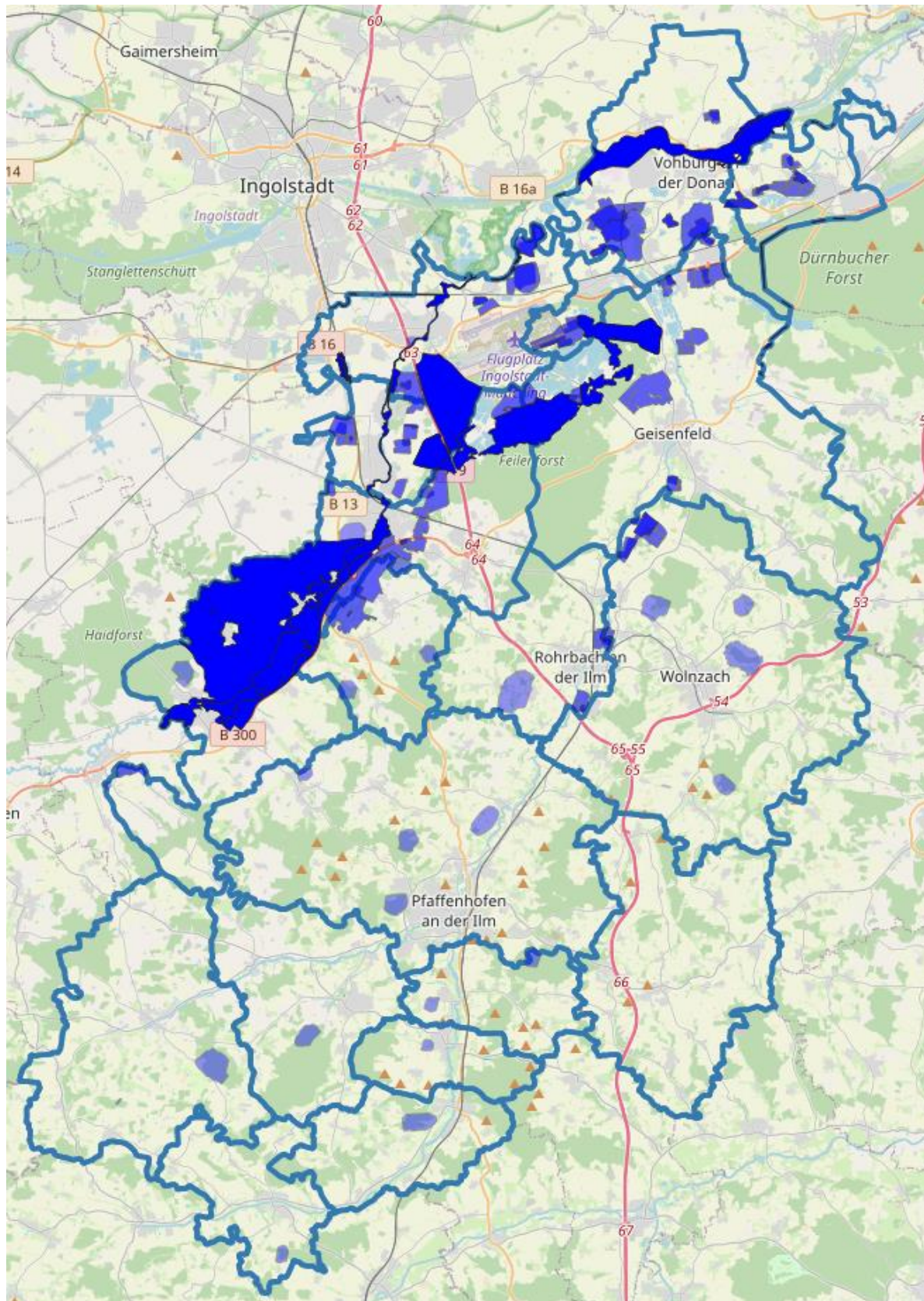


Abbildung 23: Auszug der Restriktionsflächen gemäß Kriterienkatalog

Darauf basierend haben sich die potenziellen Flächen gemäß nachfolgender Abbildung ergeben, die grundsätzlich alle Kriterien einhalten würden. Die gelben Flächen entsprechen hierbei allen Potenzialflächen gemäß Kriterienkatalog mit Berücksichtigung eines Mindestabstands zu Siedlungen von 300m. Die rosa gekennzeichneten Flächen entsprechen den privilegierten Flächen entlang der Autobahnen bzw. der mindestens zweigleisigen Schienenwegen (gemäß §35 Baugesetzbuch). In Summe entsprechen die gelben Flächen einer Gesamtfläche von rund 7.900 ha. Die privilegierten Flächen alleine entsprechen einer Gesamtfläche in Höhe von 1.400 ha.

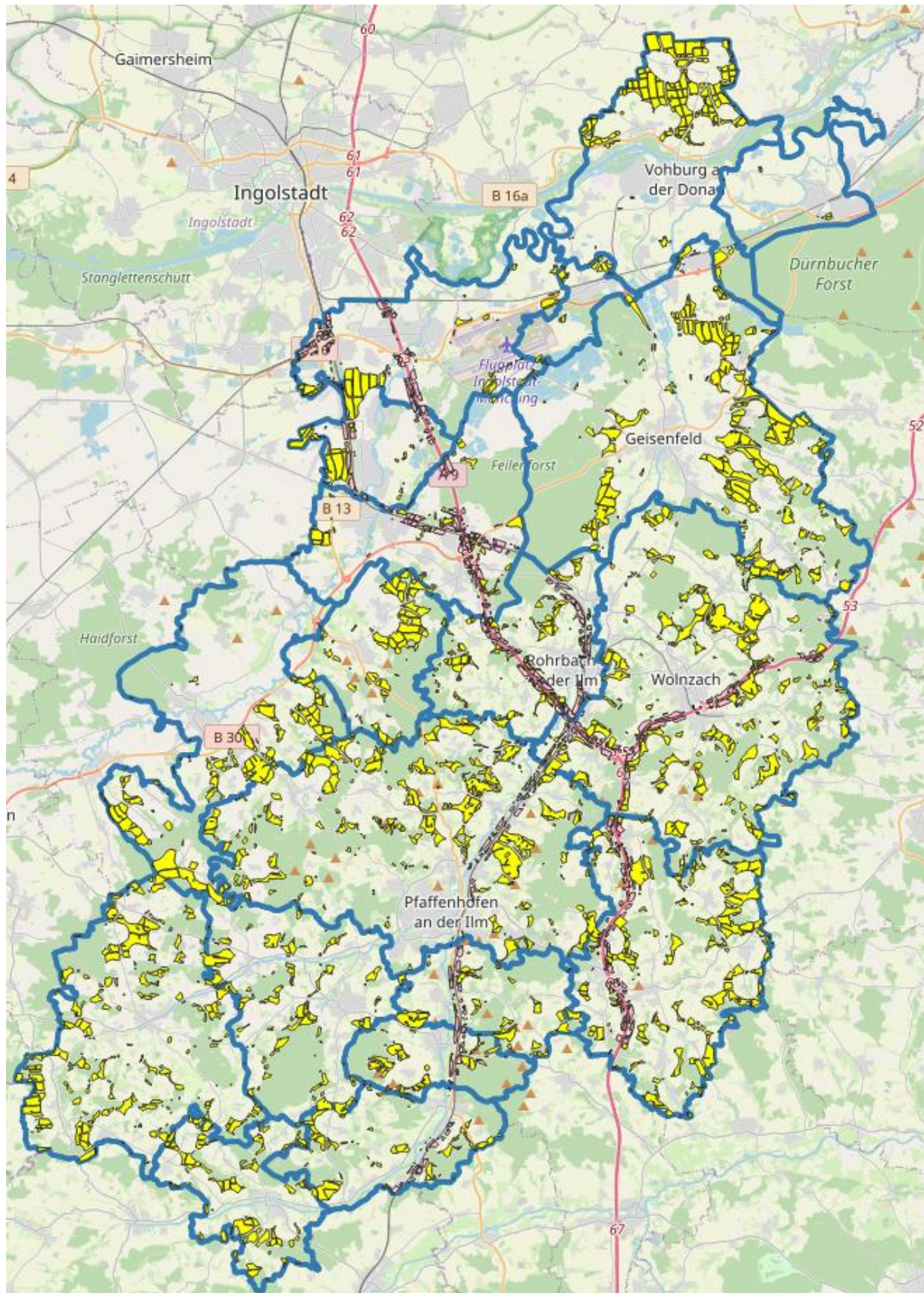


Abbildung 24: Übersicht der potenziellen Flächen gemäß Kriterienkatalog unter Berücksichtigung eines 300m Abstands zu Siedlungsflächen, außer in den privilegierten Flächen

7.2 GIS-Analyse des möglichen Potenzials für Parkplatz-Photovoltaik

Ziel der Analyse ist die georeferenzierte Identifikation und Analyse potenziell für Parkplatz-Photovoltaik geeigneter Parkplatzflächen im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm. Die Identifikation der potenziell geeigneten Flächen stützt sich auf frei zugängliche Open-Source-Daten. Diese werden in einem GIS-Programm verarbeitet und aufbereitet, sodass eine Identifikation einzelner Parkplatz-Areale und eine automatische Auswertung möglich werden. Die Analyse wird zudem ergänzt mit öffentlich verfügbaren Daten zu bestehenden Ladesäulen, Supermarktstandorten, Flächen in Ensembleschutz-Gebieten und Gebiete der Industrie, des Gewerbes und des Einzelhandels.

Erfahrungswerte zeigen, dass rund 1.200 m² Mindest-Fläche verfügbar sein sollte, damit eine Parkplatz-Photovoltaikanlage wirtschaftlich betrieben werden kann. Sollte Eigenverbrauch möglich sein (beispielsweise bei Industriebetrieben) könnte dieser Wert auch unterschritten werden, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Diese Konstellation kann über den hier durchgeführten Ansatz aber nicht abgebildet werden. Daher wurden die identifizierten Parkflächen nach der Vorgabe einer Mindest-Fläche von 1.200 m² analysiert und all diejenigen, die dieses Kriterium unterschreiten, nicht berücksichtigt.

Insgesamt konnten im Landkreis (anhand der beschriebenen Methodik) rund 100 Hektar an potenziell geeigneten Parkplatzflächen identifiziert werden. Bei einem Flächenbedarf von rund 6,5 m²/kWp würde dies einer Gesamtleistung an Photovoltaik in Höhe von 150 MW entsprechen. In Abstimmung mit der Steuerungsrunde wurde das Ziel angesetzt, dass davon bis zum Jahr 2040 rund 15% umgesetzt werden könnten. Hierdurch würde sich eine jährliche Stromproduktion in Höhe von 20.000.000 kWh ergeben.

Ein Auszug der potenziell identifizierten Flächen, klassifiziert nach der absoluten Fläche, ist in Abbildung 25 ersichtlich.

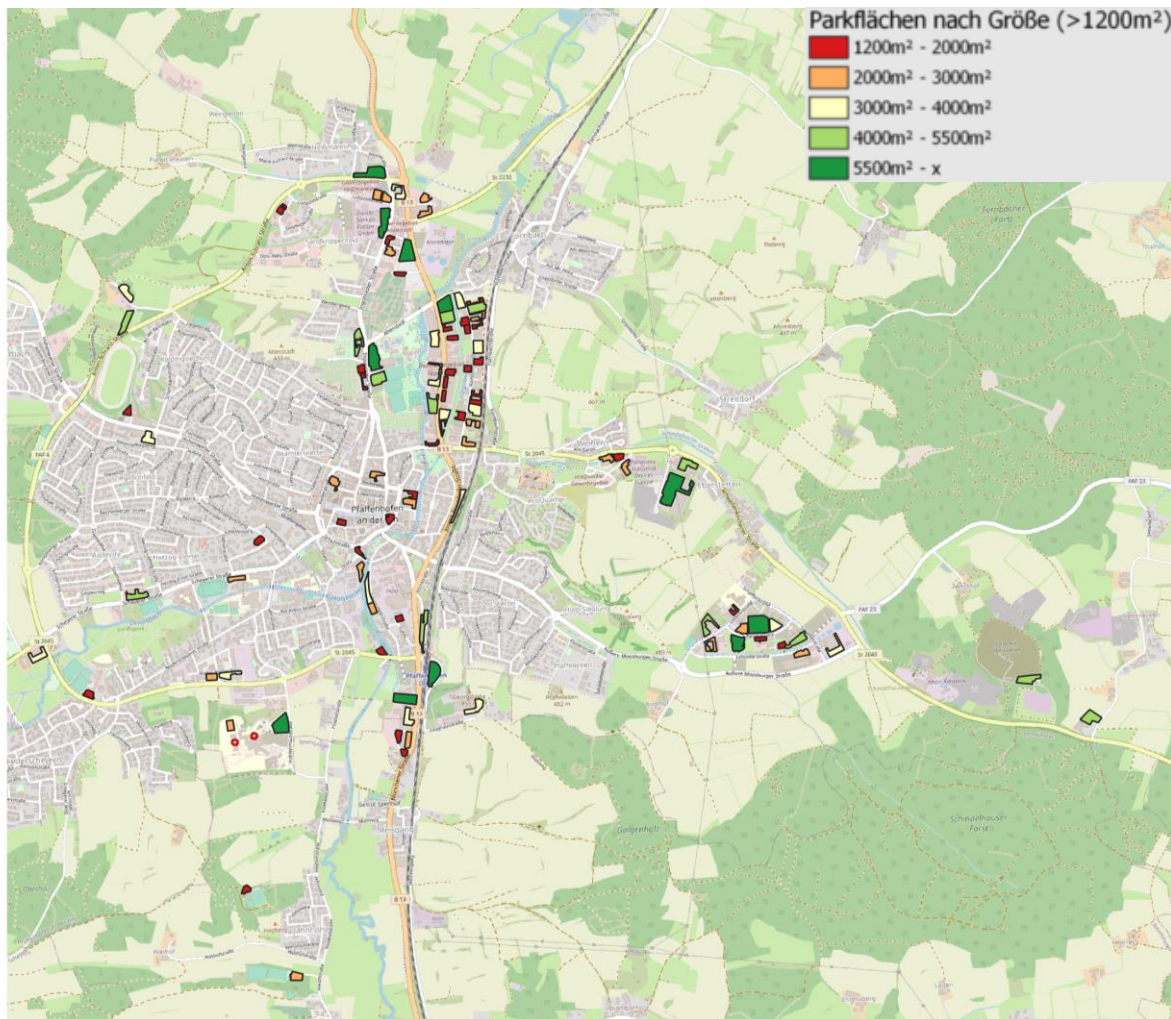


Abbildung 25: Auszug und Klassifizierung der identifizierten Parkplatzflächen (> 1.200 m²) nach absoluter Fläche
[Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]

Zudem ermöglicht die GIS-Analyse einzelne Flächen gemäß ihres Formfaktors zu klassifizieren (vgl. Abbildung 26). Flächen mit einer tendenziell rechteckigen Struktur sind als eher geeignet eingestuft (tendenziell grün) im Vergleich zu Flächen mit hohem Grad an Rundungen oder Verwinkelungen (tendenziell rot).

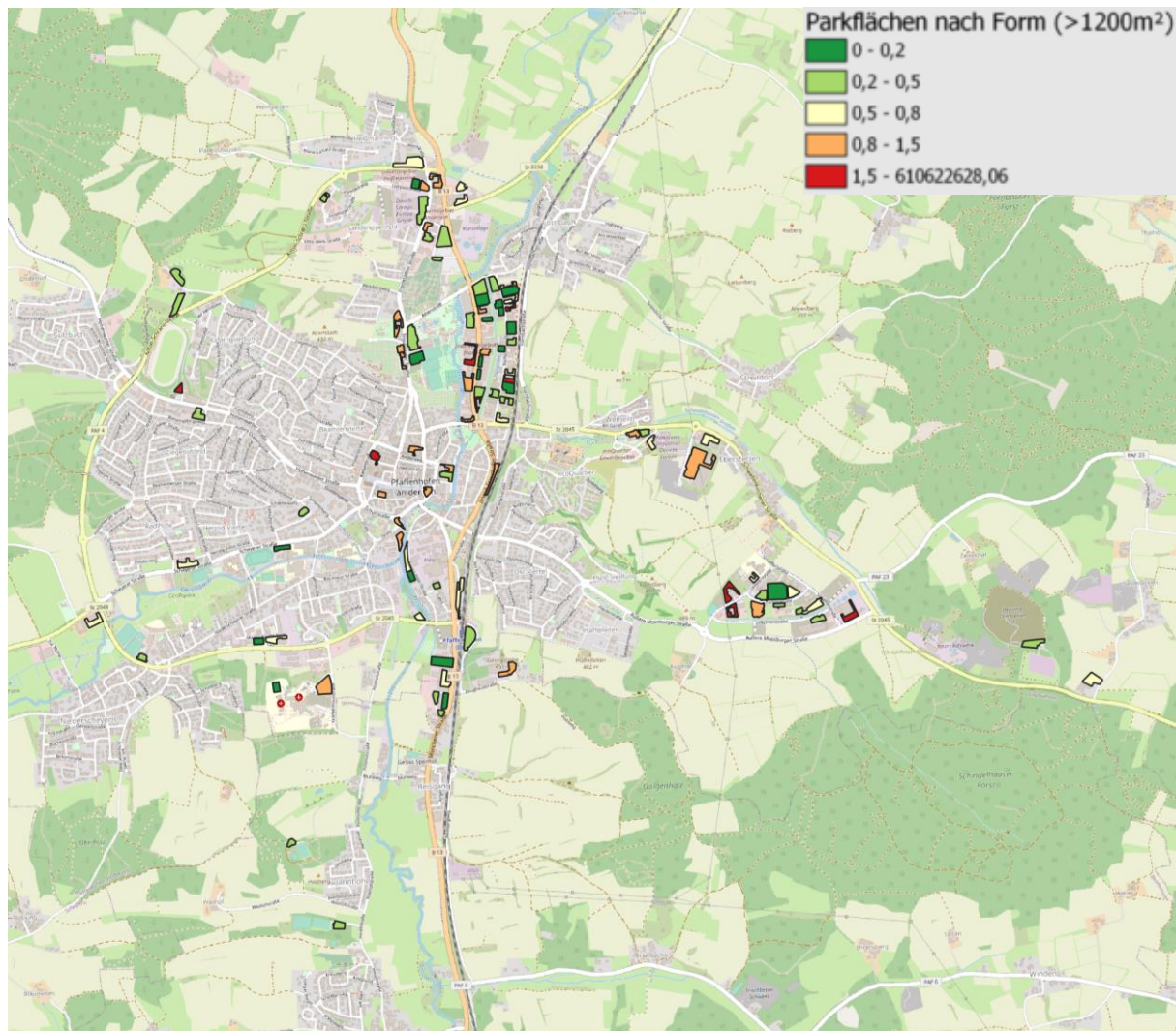


Abbildung 26: Auszug und Klassifizierung der identifizierten Parkplatzflächen (> 1.200 m²) nach Formfaktor [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]

8 Zusammenfassung

Mit dem digitalen Energienutzungsplan für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm wurde ein 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.

In einer umfassenden Bestandsaufnahme wurde zunächst detailliert die Energiebilanz für die Sektoren Wärme, Strom und Verkehr im Ist-Zustand (Jahr 2021) erfasst und der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung ermittelt. Die Berechnungen zeigen, dass bilanziell rund 50 % Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Die Wärmeerzeugung erfolgt noch zu rund 75 % aus fossilen Energiequellen (insbesondere Heizöl und Erdgas). Jedoch ist der Anteil der Biomassenutzung (Holz) für die Wärmeerzeugung mit rund 24% als überdurchschnittlich einzuordnen, was z.B. mit vorhandenen Biomasseheizkraftwerken mit Fernwärmeauskopplung begründet werden kann. Basis der Analysen war eine umfassende Datenerhebung u.a. mit Datenerhebungsbögen bei Gewerbebetrieben und kommunalen Liegenschaften. Zudem erfolgte eine enge Einbindung und Abstimmung mit allen regionalen Energieversorgungsunternehmen.

Sämtliche Energieverbrauchsdaten wurden 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 ausgearbeitet. Für die Potenzialanalyse zur energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden wurde ein gebäudescharfes Sanierungskataster erstellt. Für jedes Gebäude stellt das Sanierungskataster die mögliche Energieeinsparung für definierten Sanierungsvarianten bzw. Sanierungstiefen dar.

Im Bereich der regenerativen Stromerzeugung besteht das größte Ausbaupotenzial aus der solaren Stromerzeugung auf Dachflächen und Freiflächen sowie der Windkraftnutzung. Durch den weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung könnten die bilanziellen Überschüsse für den Einsatz von Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung genutzt werden und den Bedarf an Heizöl mindern. Zudem könnte der regional erzeugte Strom aus erneuerbaren Energien für den künftig ansteigenden Bedarf an Strom für die Elektromobilität / H2-Mobilität genutzt werden.

Basierend auf der Analyse der energetischen Ausgangssituation und der Potenzialanalysen wurden strategische Szenarien für Strom, Wärme und Mobilität erarbeitet, aus denen Handlungsoptionen und der Entwicklungspfad zum Erreichen einer bilanziellen Energieneutralität bis zum Jahr 2040 abgeleitet werden können. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass das Energieszenario 2040 eine rein bilanzielle Betrachtung darstellt, keine Autarkiebetrachtung. Um eine möglichst hohe Eigenversorgung zu erreichen, ist zwingend die ergänzende Installation von Speichern erforderlich. Zudem muss zwingend die für den Ausbau der erneuerbaren Energien erforderliche Netzinfrastuktur geschaffen werden, weshalb eine frühzeitige Abstimmung mit allen zuständigen Netzbetreibern empfohlen wird.

Aufbauend auf die Potenzialanalyse und das mögliche Energieszenario 2040 erfolgte im nächsten Schritt die Ausarbeitung eines konkreten Maßnahmenkatalogs für alle Kommunen des Landkreises. Die Entwicklung der konkreten Maßnahmenideen erfolgte gemeinsam mit den einzelnen Kommunen im Rahmen von Regionalkonferenzen.

Durch die hohe Detailschärfe ist der digitale Energienutzungsplan nicht nur ein Instrument für die kommunale Energieplanung, sondern auch eine Unterstützung für Wirtschaftsbetriebe und alle Bürgerinnen und Bürger bei der künftigen Identifizierung von Energieeinsparmaßnahmen und der Nutzung erneuerbarer Energien.

Der digitale Energienutzungsplan zeigt, dass im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm (trotz der großen Anzahl an energieintensiven Industriebetrieben) gute Voraussetzungen vorliegen, um eine bilanzielle Energieversorgung aus regionalen erneuerbaren Energien (in Verbindung mit klugen Speichertechnologien und Netzinfrastukturmaßnahmen) zu erreichen.

Nomenklatur

BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW	Blockheizkraftwerk
EE	Erneuerbare Energien
EED	EU-Energie-Effizienzrichtlinie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
ENP	Energienutzungsplan
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
GEG	Gebäudeenergiegesetz
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW_{el}	Elektrische Leistung
kW_{th}	Thermische Leistung
MWh_{el}	Megawattstunde elektrisch
kWh_{Hi}	Heizwert
MWh_{th}	Megawattstunde thermisch
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kW_{p}	Kilowatt-Peak
PV	Photovoltaik
THG	Treibhausgas
TWW	Trinkwarmwasser
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WP	Wärmepumpe

Quellenverzeichnis

[BAFA Solar]	Bundesverband Solarwirtschaft BSW e.V.; https://www.solaratlas.de/index.php?id=5
[BDEW Haushalt]	BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. - Durchschnittlicher Haushaltsstromverbrauch, https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/durchschnittlicher-haushaltsstromverbrauch/
[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
[EED]	Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und Rates („EU-Effizienzrichtlinie“), 25.12.2012
[GEG]	Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäude-Energie-Gesetz)
[KEA Emission]	https://www.kea-bw.de/kommunaler-klimaschutz/angebote/co2-bilanzierung
[LWF]	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
[Sta Ba]	Bayerisches Landesamt für Statistik; https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/
[STATISTA W]	Statistisches Bundesamt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektablauf und Einbindung der Akteure	7
Abbildung 2: Anonymisierter Ausschnitt eines gebäudescharfen Wärmekatasters	12
Abbildung 3: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen Wärmekatasters [Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	12
Abbildung 4: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2020/2021	13
Abbildung 5: Verteilung der Energieträger zur Bereitstellung von thermischer Energie	14
Abbildung 6: Strombezug der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2020/2021	15
Abbildung 7: Strom-Einspeisung aus Erneuerbare-Energien- und KWK-Anlagen	16
Abbildung 8: Gegenüberstellung von Strombezug und -einspeisung im Ist-Zustand (Bilanzjahr 2021)	17
Abbildung 9: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	18
Abbildung 10: Endenergieverbrauch nach Verkehrsbereichen im Sektor „Verkehr“ in Deutschland im Jahr 2021. Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 303; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.)	19
Abbildung 11: Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor "Verkehr" in Deutschland im Jahr 2021. Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 304; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.)	20
Abbildung 12: Anonymisierter Ausschnitt eines Sanierungskatasters vor und nach der Sanierung (Szenario: jährliche Sanierungsrate von 2% bis zum Jahr 2040)	26
Abbildung 13: Auszug Solarpotenzialkataster für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm [Bildquelle: https://www.solare-stadt.de/landkreis-Pfaffenhofen a. d. Ilm/]	30
Abbildung 14: Auszug der Potenzialgebiete für Windkraft [Open Street Map, eigene Bearbeitung]	37
Abbildung 15: Windkraft: Auszug der Potenzialanalyse im Energienutzungsplan (links) und dem Teilflächennutzungsplan Windkraft aus dem Jahr 2015 (rechts)	38
Abbildung 16: Standorteignung oberflächennahe Geothermie (LfU Bayern; eigene Bearbeitung)	40

<i>Abbildung 17: Standorteignung oberflächennahe Geothermie mit Verschneidung des Wärmebedarfs in Form einer Heatmap (LfU Bayern; eigene Bearbeitung)</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 18: Auszug Gründachkataster für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm [Bildquelle: https://www.solare-stadt.de/landkreis-pfaffenhofen/gruendachpotenzialkataster]</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 19: Potenzialergebnis für die Retentionsleistung im Landkreis Pfaffenhofen an der Ilm</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 20: Energieszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 21: Energieszenario 2021 bis 2040 - Ausbauszenario erneuerbarer Energien im Strombereich.....</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 22: Energieszenario im Jahr 2040 – Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energien im Jahr 2040.....</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 23: Auszug der Restriktionsflächen gemäß Kriterienkatalog</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 24: Übersicht der potenziellen Flächen gemäß Kriterienkatalog unter Berücksichtigung eines 300m Abstands zu Siedlungsflächen, außer in den privilegierten Flächen.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 25: Auszug und Klassifizierung der identifizierten Parkplatzflächen (> 1.200 m²) nach absoluter Fläche [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 26: Auszug und Klassifizierung der identifizierten Parkplatzflächen (> 1.200 m²) nach Formfaktor [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]</i>	<i>57</i>

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die CO₂-Äquivalente der jeweiligen Energieträger [GEMIS 4.9; KEA; Berechnungen IfE]

..... 21