



Digitaler Energienutzungsplan
für den Landkreis
Schwandorf

Digitaler Energienutzungsplan für den Landkreis Schwandorf

Auftraggeber:

Landkreis Schwandorf
Wackersdorferstraße 80
92421 Schwandorf

Auftragnehmer

Institut für Energietechnik IfE GmbH
an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23a
92224 Amberg

Gefördert durch das

Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bearbeitungszeitraum:

September 2021 bis Januar 2023

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.....	11
3.3	Sektor Wärme	13
3.3.1	Gebäudescharfes Wärmekataster	13
3.3.2	Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien	16
3.4	Sektor Strom	18
3.5	Sektor Verkehr	22
3.6	CO ₂ -Bilanz.....	22
4	Potenzialanalyse.....	24
4.1	Grundannahmen und Vorgehensweise	24
4.2	Potenziale zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung in den Verbrauchssektoren Strom und Wärme.....	25
4.3	Effizienzsteigerungs- und Transformationsprozesse im Sektor Verkehr	28
4.4	Sektorenkopplung.....	29
4.5	Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien	29
4.5.1	Solarthermie und Photovoltaik.....	30
4.5.2	Wasserkraft.....	38
4.5.3	Biomasse/Biomasse-KWK.....	40
4.5.4	Windkraft.....	45
4.5.5	Heizstrom.....	51
4.5.6	Geothermie.....	52

4.5.7	Kraft-Wärme-Kopplung	55
4.5.8	Abwärme	55
5	Entwicklungsszenarien.....	57
5.1	Bedarf.....	58
5.2	Erzeugung.....	59
5.3	Szenario.....	62
6	Maßnahmenkatalog.....	66
7	Detailprüfung eines Pilotprojekts aus dem Maßnahmenkatalog.....	67
7.1	Grundlagen Parkplatz-Photovoltaik	67
7.1.1	Hintergründe	67
7.1.2	Ausführung	69
7.1.3	Nutzungsmöglichkeiten für den erzeugten Strom	71
7.2	GIS-Analyse des möglichen Parkplatz-PV-Potenzials am Beispiel der Stadt Schwandorf....	73
7.2.1	Methodik	73
7.2.2	Ergebnisse der GIS-Analyse und Ergebnisdarstellung	76
7.2.3	Beispielrechnung	79
7.3	Praxisbeispiel Hotel Wolfringmühle Fensterbach.....	83
8	Zusammenfassung.....	87
	Quellenverzeichnis	XCI
	Abbildungsverzeichnis	XCII
	Tabellenverzeichnis	XCV
	Anhang	96

1 Einleitung

Mit dem digitalen Energienutzungsplan für den Landkreis Schwandorf 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
- Detailanalyse eines ausgewählten Pilotprojekts

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 Projekttablauf 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 2019) erstellt. Dabei wurde zwischen den Verbrauchergruppen „Private Haushalte“, „Kommunale Liegenschaften“ und „Wirtschaft“ unterschieden. In Abstimmung mit dem Landkreis wurde auch die Verbrauchergruppe „Verkehr“ mit in die Bilanz aufgenommen. 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 technischen 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 Projekttablauf des Energienutzungsplans ist zusammenfassend in Abbildung 1 dargestellt. Für die Projektkoordination und die Abstimmung zentraler Fragestellungen wurden regelmäßige Abstimmungsrunden mit verschiedenen Vertretern des Landkreises (Landratsamt, Energieversorger, Kommune) durchgeführt (Steuerungsrunde). 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 Datenerhebung • Abstimmung der Akteursbeteiligung
1. Abstimmungsrunde	<ul style="list-style-type: none"> • Entwurfsbesprechung des energetischen Ist-Zustands • Vorbereitung der Potenzialanalysen • Vorbesprechung der Potenzialanalysen zur Energieeinsparung und zu erneuerbaren Energien
Zwischenbesprechung in den Kommunen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorstellung vorläufiger kommunenspezifischer Ergebnisse (energetischen Ist-Zustand inkl. Wärmekataster, Potenziale erneuerbare Energien und Effizienzsteigerung) • Darstellung der gutachterlichen Projektvorschläge für den Maßnahmenkatalog • Diskussion und Festlegung des Maßnahmenkatalogs
2. Abstimmungsrunde	<ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung der Ergebnisse aus den Zwischenbesprechungen in den Kommunen • Vorstellung der vorläufigen Endergebnisse bezüglich des Ist-Zustands und der Potenzialanalysen • Vorstellung der Entwürfe der Potenzialanalysen zur Energieeinsparung und zu erneuerbaren Energien
Vorbesprechung Abschlusstermin	<ul style="list-style-type: none"> • Vorstellung der Ergebnisse des Detailprojekts • Vorstellung der Endergebnisse des Energienutzungsplans
Abschlusspräsentation	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentliche Vorstellung der Ergebnisse und offizieller Projektabschluss

Abbildung 1: Projekttablauf 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 Verbraucherguppen

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans werden folgende Verbraucherguppen definiert:

a) Private Haushalte

Die Verbraucherguppe „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 Verbraucherguppe „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 Verbraucherguppe „Wirtschaft“ werden alle Energieverbraucher zusammengefasst, die nicht in eine der Verbraucherguppen „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 Verbraucherguppe zugeordnet.

d) Verkehr

Die Betrachtung des Verkehrssektors ist ursprünglich kein Bestandteil des Energienutzungsplans. Mit Blick auf die deutliche Zunahme der Relevanz der Sektorkopplung, wurde dieser als eigene Verbrauchergruppe mit in den Energienutzungsplan integriert. Der Endenergiebedarf im Sektor Verkehr schließt hier 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 Energie-Kennwert gewählt.

3.1.2 Datengrundlage und Datenquellen

Alle Datenerhebungen, Analysen und Berechnungen im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans beziehen sich auf das Bilanzjahr 2019. Für das Jahr 2020 lag während der Projektbearbeitung noch 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 der Jahre 2017 bis 2019 zur Verfügung gestellt.
- Auswertung vorhandener Kaminkehrerdaten aus aktuellen, vergleichbaren Landkreisprojekten zur Erstellung von Kennwerten zu nicht-leitungsgebundenen Energieträgern.
- Gebäudescharfe Erfassung des Energieverbrauchs der kommunalen Liegenschaften und der Liegenschaften des Landkreises mittels Erfassungsbogen.
- Datenerhebungsbögen großer Wirtschaftsbetriebe im Landkreis.
- Datenerhebungsbögen von Biogasanlagen-Betreibern.
- Datenerhebungsbögen kommunaler 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-schwandorf>).
- 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 Schwandorf wird auf Verteilnetzebene von insgesamt zwei Netzbetreibern (Verteilnetzbetreiber) betrieben:

- Bayernwerk AG
- Stadtwerke Neunburg vorm Wald Strom GmbH

Von Seiten der Bayernwerk AG, die mit Ausnahme der Stadt Neunburg vorm Wald, vollständig für das Gas- und Stromnetz auf Verteilnetzebene im Landkreis verantwortlich ist, liegen vollständige Datensätze zu Netzabsatz und Stromeinspeisung vor.

Für das Netzgebiet der Stadtwerke Neunburg vorm Wald lagen ausschließlich die im Rahmen gesetzlicher Veröffentlichungspflichten auf der Homepage der Stadtwerke ausgewiesenen Gesamt-Mengen des Stromabsatzes vor. Für eine Aufgliederung in Verbrauchergruppen (Private Haushalte, Gewerbliche Einheiten bzw. Industrie oder auch Heizstrom) wurde sich vor allem an der prozentualen Verteilung in den anderen Gemeinden orientiert. Ergänzt wurde dies durch Fragebögen und Kennwerte. Für die eingespeisten Mengen aus erneuerbaren Energien wurden die Zahlen auf Basis aktueller Veröffentlichungen des Landesamts für Umweltschutz (LfU) herangezogen. Sie sind über den sog. Energieatlas akquirierbar.

Gasnetz

Im Landkreis Schwandorf ist als Verteilnetzbetreiber für die Gasversorgung die Bayernwerk AG tätig. Für das Landkreisgebiet liegen vollständige Netzabsatzdaten vor. Von den 33 Gemeinden des Landkreises werden 21 mit Erdgas versorgt.

Durch verschiedene Gemeinden des Landkreises Schwandorf verläuft eine Fernleitung der Firma Open Grid Europe GmbH (OGE). Im Zuge der Gespräche vor Ort und durch direkte Gespräche mit Unternehmen wurde bekannt, dass sich im Landkreis industrielle Verbraucher befinden, die Erdgas direkt aus der vorgelagerten Netzebene und nicht aus dem Verteilnetz beziehen. Von Seiten der OGE wurden keine Informationen über einzelne Anschließer oder abgesetzte Mengen zur Verfügung gestellt, weshalb diese Einzelgespräche die einzige Informationsquelle über konkrete Mengen sind. Ob damit sämtliche Unternehmen, die direkt aus der vorgelagerten Netzebene beziehen, ermittelt werden konnten, ist aus den vorhandenen Quellen nicht final ersichtlich.

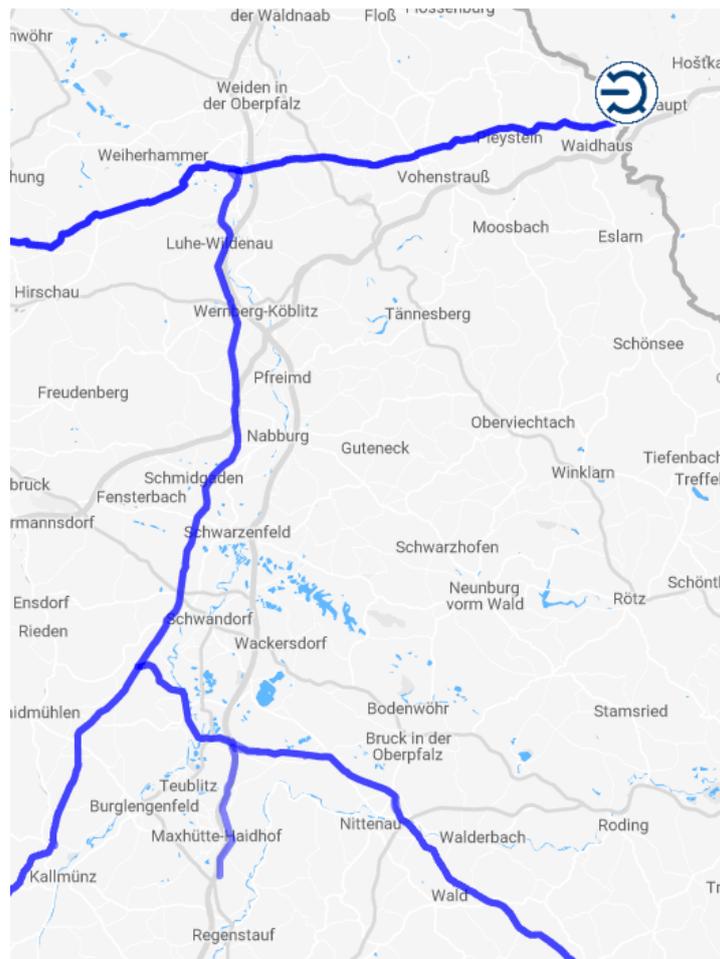


Abbildung 2: Verlauf der Gas-Fernleitung der Open Grid Europe GmbH (Bildquelle: oge.net, eigene Bearbeitung)

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

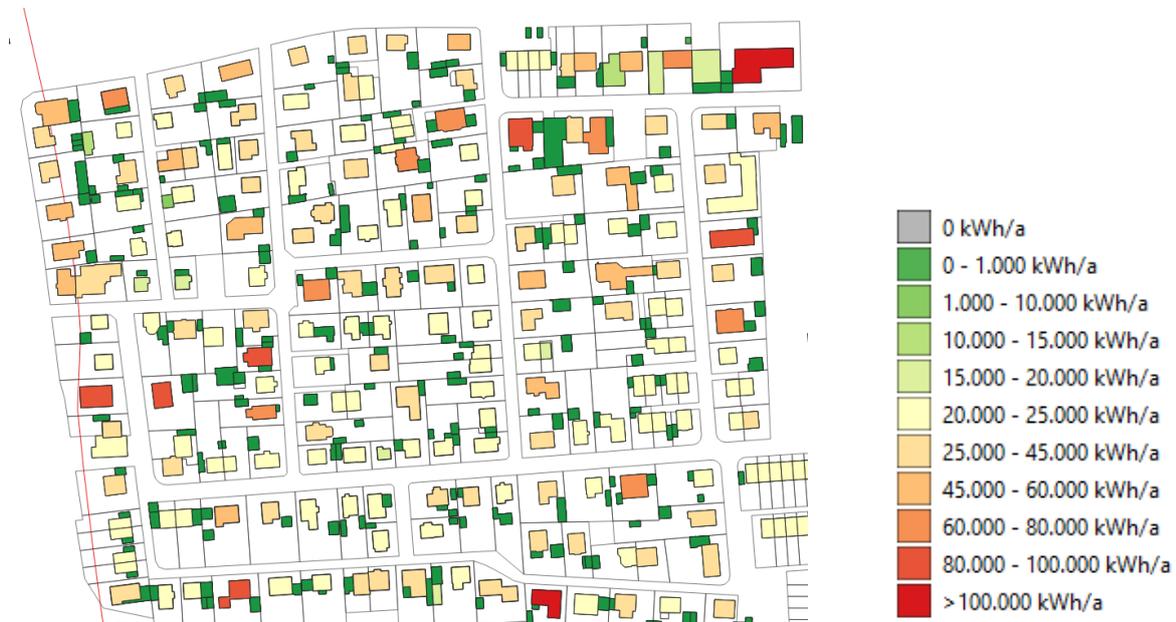


Abbildung 3: Exemplarischer Ausschnitt aus dem gebäudescharfen Wärmekataster

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.

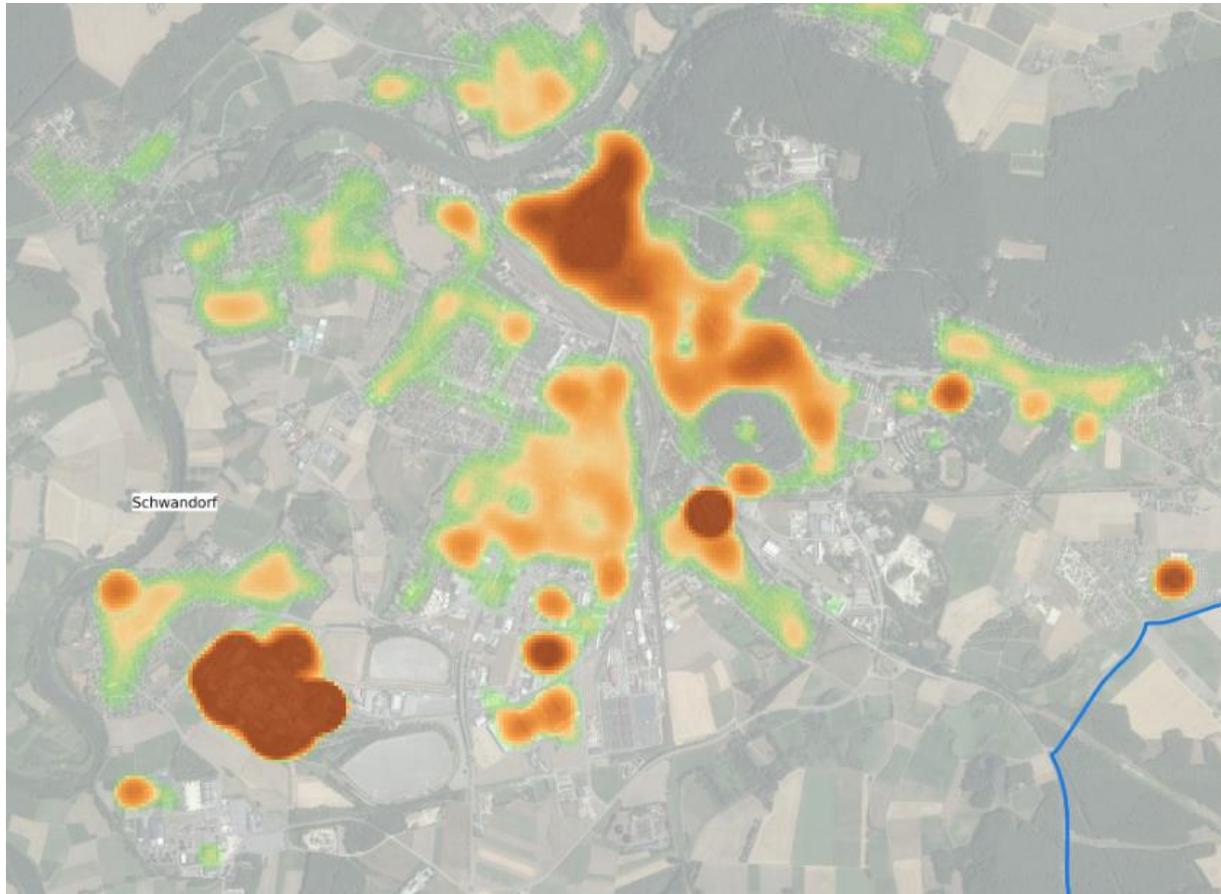


Abbildung 4: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen
Wärmekatasters [Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

3.3.2 Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien

Der jährliche Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung aller Verbrauchergruppen beläuft sich auf rund 2.997.555 MWh pro Jahr. In Abbildung 5 ist die Aufteilung des Wärmebedarfs in die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Den höchsten Wärmebedarf weist die Verbrauchergruppe „Gewerbe und Industrie“ auf.

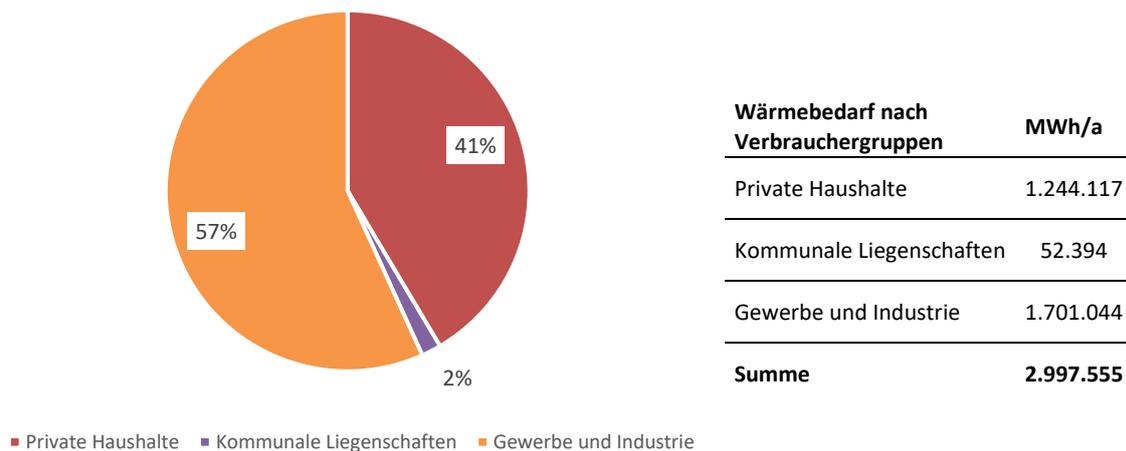


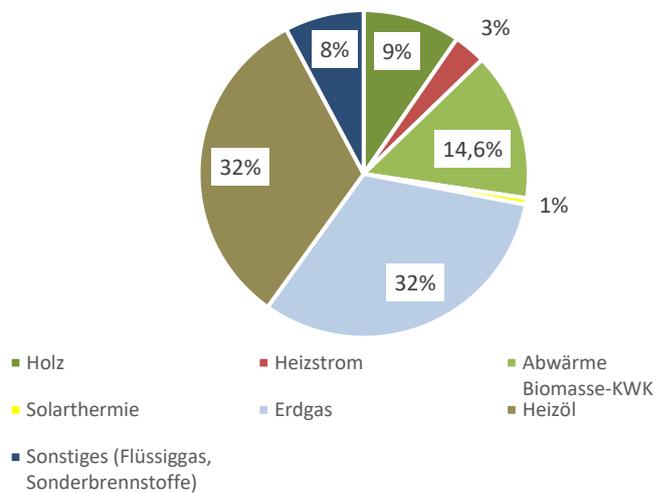
Abbildung 5: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019

Von den insgesamt 2.997.555 MWh Wärmebedarf werden rund 25 % aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, insbesondere über Fernwärme und Biomasse (Holz). Aufgrund des niedrigen Primärenergiefaktors ist die Fernwärmeversorgung im Stadtgebiet Schwandorf, die auf Basis von Abwärme aus dem Müllheizkraftwerk gespeist wird, als „regenerativ“ eingestuft. Heizöl und Erdgas nehmen einen Anteil von jeweils knapp einem Drittel an der Wärmebereitstellung ein.

Die nicht-leitungsgebundenen Energieträger wie z.B. Heizöl oder Biomasse (Scheitholz, Pellets, Hack-schnitzel) wurden anhand einer detaillierten Auswertung von Kaminkehrerdaten aus vergleichbaren Landkreisprojekten und aus dem ermittelten Gesamt-Wärmebedarf abgeleitet. Je nach Struktur der Kommune (gasversorgt/nicht-gasversorgt, ländlich/städtisch,...) wurden aus den Vergleichs-Datensätzen spezifische Kennwerte abgeleitet und auf die Kommunen im Landkreis angewandt. Mittelfristig sollen die Datensätze zu Art, Anzahl und Leistung der Feuerstätten den betreffenden Kommunen wieder zugänglich gemacht werden. Dies ist im bayerischen Klimaschutzgesetz inzwischen so verankert. Wann die Zentralisierung und Aufbereitung dieser Datensätze über das Landesamt für Statistik so abgeschlossen sein wird, dass die Kommunen darauf zurückgreifen können, ist noch offen. Es ist sinnvoll mit Vorliegen dieser Kesseldaten die Energiebilanzen aus dem Energienutzungsplan zu aktualisieren bzw. abzugleichen.

Hinweis

In verschiedenen Industriebetrieben im Landkreis werden auch größere Mengen an Sonderbrennstoffen eingesetzt. Sofern diese Primärenergieträger sind (Braunkohlestaub beispielsweise), sind sie in der Energiebilanz mit aufgeführt. Wenn sie hingegen sogenannte Sekundärbrennstoffe sind (Abfall bzw. Stoffe für die anderorts bereits Primärenergie aufgewendet wurde), so sind sie in der Energiebilanz nicht enthalten. Diese Energie wäre dem Herkunftsort des Sekundärbrennstoffs zuzuordnen.



Energieträger "Thermisch"	MWh/a
Holz	286.600
Heizstrom	94.700
Abwärme Biomasse-KWK	439.000
Solarthermie	19.500
Erdgas	955.200
Heizöl	969.400
Sonstiges (Flüssiggas, Sonderbrennstoffe)	232.900
Summe	2.997.300

Abbildung 6: Verteilung der Energieträger zur Bereitstellung von thermischer Energie

3.4 Sektor Strom

Der Strombezug im Landkreis Schwandorf im Jahr 2019 beläuft sich in Summe auf rund 1.063.254 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 82 % den größten Anteil einnimmt, gefolgt von den privaten Haushalten mit 16 %. Kommunale Liegenschaften (inklusive der Liegenschaften des Landkreises) benötigen in etwa 2 % des jährlichen Strombedarfs im Landkreis (Abbildung 7).

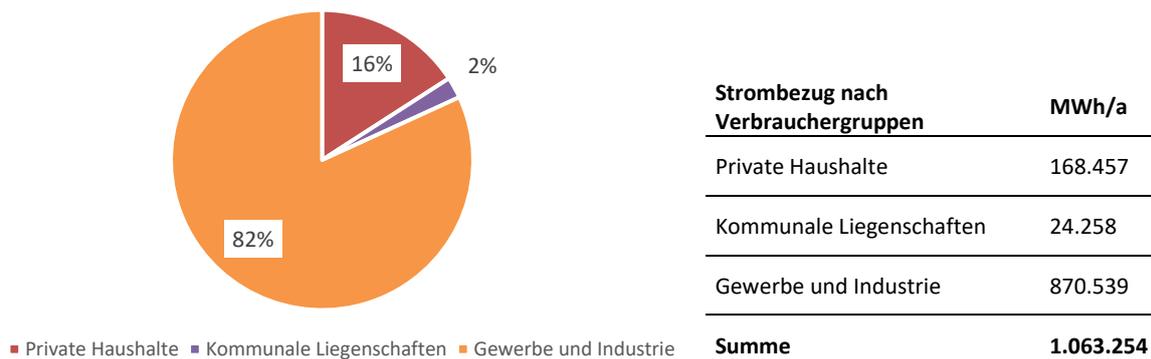


Abbildung 7: Strombezug der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019

Im Rahmen der Gesamt-Energiebilanz wurden des Weiteren die eingespeisten Strommengen aus Energie-Erzeugungsanlagen im Strom-Netzgebiet detailliert erfasst und analysiert. Abbildung 8 zeigt die eingespeisten Strommengen aus Aufdach-Photovoltaik, Wasserkraft, Biogas, Windkraft sowie aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen). Strom aus der Müllverbrennungsanlage in Schwandorf wird dabei der Kategorie KWK-Anlagen zugeordnet. In Summe wurden im Bilanzjahr 2019 rund 611.486 MWh_{el} in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Den größten Anteil bilden dabei die Aufdach-Photovoltaik und KWK-Anlagen (je ca. 29 %), wobei, wie zuvor erwähnt, in den KWK-Anlagen auch die Müllverbrennungsanlage Schwandorf enthalten ist und diese zu den rund 178.181 MWh KWK-Strom bereits rund 168.190 MWh beisteuert. Auch Biomasse-KWK-Anlagen (vor allem Biogas) tragen aktuell einen signifikant großen Anteil (ca. 22 %) 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.

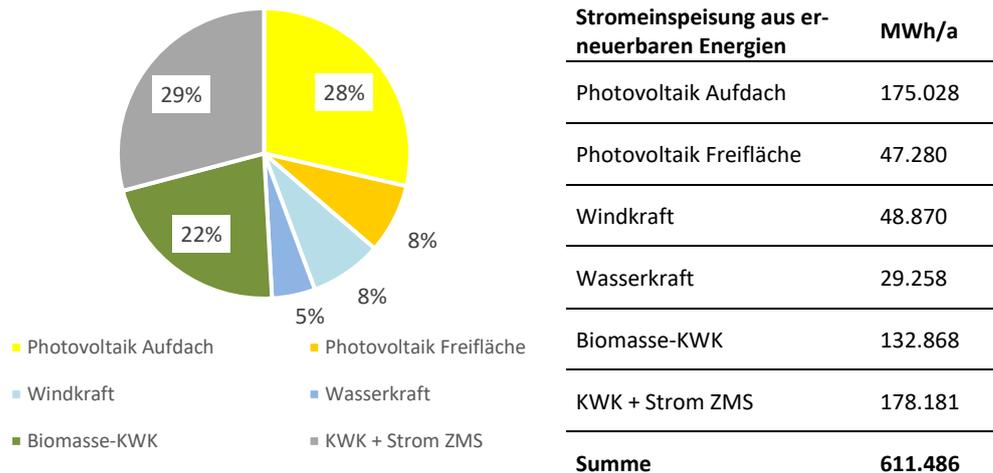


Abbildung 8: Strom-Einspeisung aus Erneuerbare-Energien- und KWK-Anlagen

Hinweise:

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 (da meist wirtschaftlich sinnvoller).

In Summe wurden im Bilanzjahr 2019 innerhalb des Landkreises bilanziell rund 611.468 MWh in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Dem gegenüber steht ein Strombezug im Jahr 2019 in Höhe von 1.063.254 MWh. Eine Übersicht von Bezug und Einspeisung ist in Abbildung 9 dargestellt.

⇒ **Bilanzieller Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung beträgt rund 58 % (Jahr 2019)**

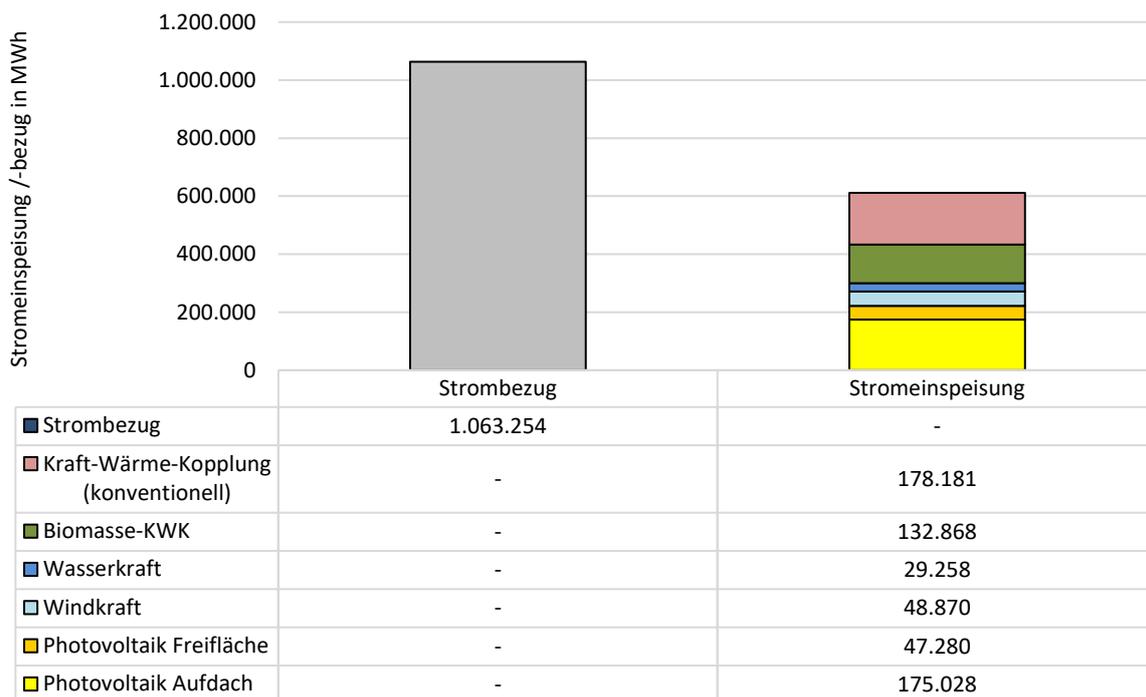


Abbildung 9: Gegenüberstellung von Strombezug und -einspeisung im Ist-Zustand (Bilanzjahr 2019)

Zum Zeitpunkt der Datenakquise lag für alle Datensätze als letztes vollständiges Kalenderjahr das Jahr 2019 vor. Daher wurde dies für das Konzept als Bilanzjahr festgelegt. Aufgrund dessen konnten im Jahr 2020 und später neu errichtete EEG- und KWK-Anlagen in der Energiebilanz im Ist-Zustand nicht mit eingerechnet werden.

Nach 2019 wurden mehrere Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Betrieb genommen. Die ersten bekannten Zahlen und Abschätzungen dazu lassen ableiten, dass sich damit der Anteil des erneuerbaren Stroms (bezogen auf den Strombedarf 2019) auf mehr als 75 % erhöht hat. Konkrete Absatz- und Einspeisezahlen liegen zum aktuellen Zeitpunkt jedoch nicht vor.

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.

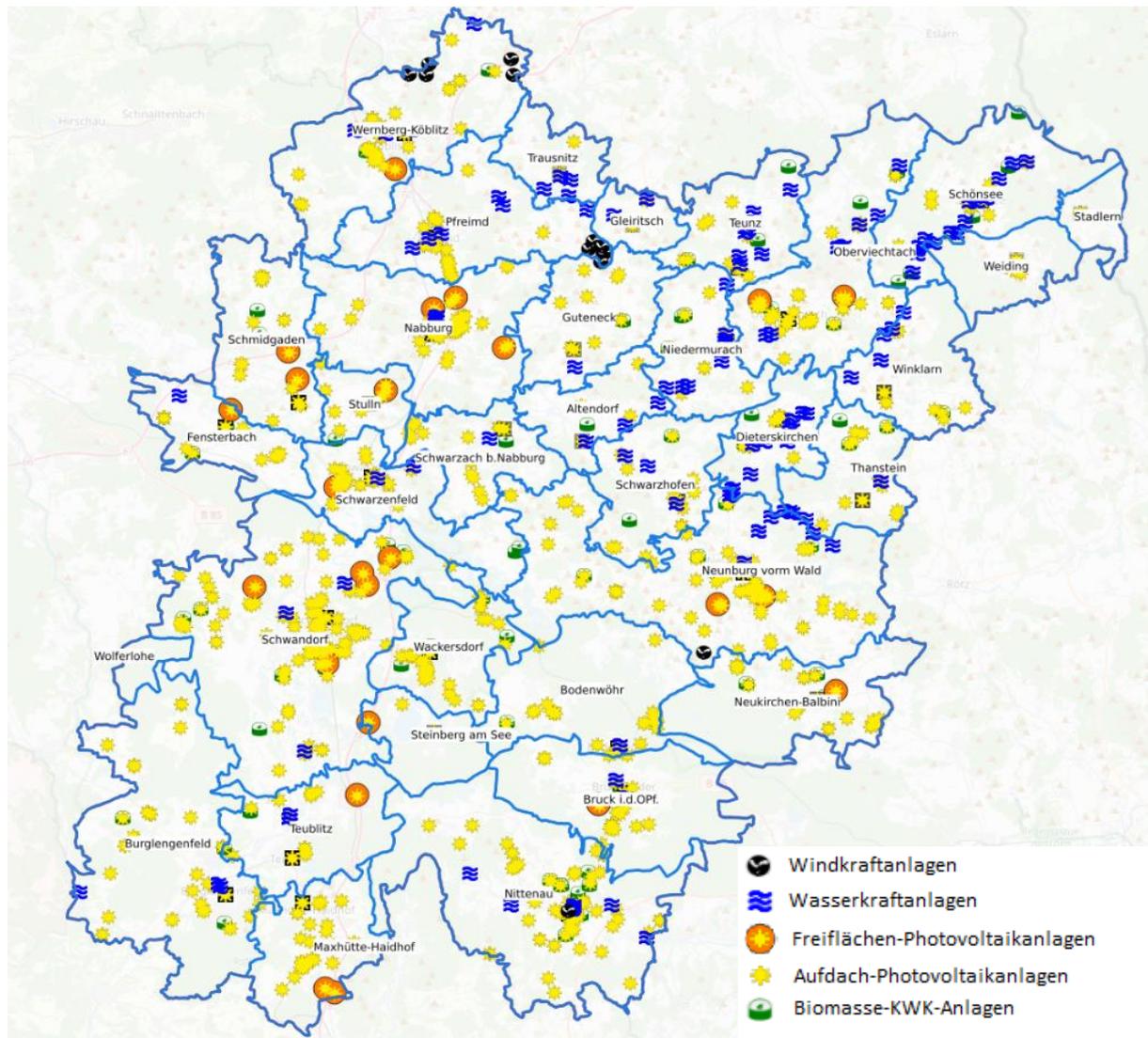


Abbildung 10: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

3.5 Sektor Verkehr

Zwar ist der Sektor Verkehr bzw. Mobilität nicht Baustein eines klassischen Energienutzungsplans, jedoch ist es im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung der Sektorkopplung zwischen Strom, Wärme und Mobilität 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 bei rund 1,6 %. [BMVI]

So lässt sich ein jährlicher Pro-Kopf-Energiebedarf für Mobilität von rund 9.000 kWh pro Einwohner ermitteln, was umgelegt auf den Landkreis Schwandorf einen Gesamt-Energieeinsatz von 1.337.866 MWh bedeutet (dabei Strombedarf für Mobilitätszwecke von 20.781 MWh).

3.6 CO₂-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 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. Dies beinhaltet auch die Emissionen an weiteren klimawirksamen Gasen, wie z. B. Methan, die 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	CO₂-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
<i>...angelehnt an Berechnungen der KEA BW</i>	
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.

- ➔ Aus dem Gesamtenergieverbrauch und der Stromeinspeisung erneuerbarer Energien und KWK resultiert ein Ausstoß von rund 1.269.000 Tonnen CO₂ pro Jahr. Dies entspricht einem jährlichen Ausstoß klimawirksamer Gase von rund 8,6 Tonnen CO₂ pro Kopf.

4 Potenzialanalyse

4.1 Grundannahmen und Vorgehensweise

Da die nachfolgende Potenzialanalyse einen Zeitraum von 21 Jahren überspannt, für den die Entwicklungen der jeweiligen Rahmenbedingungen der betrachteten Bereiche noch nicht konkret bekannt sind, müssen Annahmen getroffen werden. Die ersten beiden Annahmen stehen allgemein über den weiteren Betrachtungen:

Demographie

Prinzipiell korreliert der Endenergiebedarf u.a. mit der Bevölkerungszahl und der Altersstruktur der Bevölkerung, da aus diesen ein entsprechendes Verbraucher-Verhalten und ein absoluter Gesamtbedarf abgeleitet werden können. Die prognostizierte Änderung des Bevölkerungsstandes im Betrachtungsgebiet liegt jedoch innerhalb 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 Potenzialanalyse wird daher ein ungefähr gleichbleibender Bevölkerungsstand 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.

Neben diesen allgemeinen Annahmen müssen für die einzelnen Bereiche dieses Gesamtenergiekonzeptes Annahmen darüber getroffen werden, wie weit das jeweilige technische Potenzial bis zum Jahr 2030 bzw. 2040 ausgeschöpft werden müsste bzw. kann. Hierbei werden Szenarien entwickelt, für die jeweils ein bestimmtes Maß an Ambition bei der Hebung der Potenziale formuliert wird.

Die übergeordnete Zielstellung ist dabei so ausgerufen, dass im Zieljahr 2040 zumindest bilanziell der dato vorherrschende, prognostizierte Energiebedarf zu 100 % aus den regional vorhandenen Energiequellen gedeckt wird.

Wichtig: Die dabei skizzierten Entwicklungsszenarien stellen nur zwei von vielen möglichen zu gehenden Pfaden dar, um die gesetzten Ziele zu erreichen. Besonders große Spielräume bestehen in den Bereichen Windkraft und Photovoltaik. Die letztliche Zusammensetzung des Energiemixes in Zukunft hängt in erster Linie davon ab, welche Schwerpunkte sich die Akteure vor Ort selbst setzen.

So wurde vereinbart, dass eines der beiden Szenarien eine eher Freiflächen-Photovoltaik orientierte Strategie abbilden soll, während alternativ dazu ein zweites Szenario mit mehr Fokus auf Windkraft ausgearbeitet wurde.

Einflusspunkte, wie das Stromnetz, spielen ebenso eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung des Energiesystems vor Ort. Die hier angestellten Betrachtungen erfolgen zunächst rein bilanziell und berücksichtigen die zeitliche Komponente, den Lastverlauf von Erzeugung und Verbrauch, nicht. Insbesondere bei fluktuierenden Energiequellen wie Wind und Sonne stellt dieser Faktor aber zusätzliche Herausforderungen für das zukünftige Stromnetz in der Gesamtheit seiner Infrastruktur dar. So steigt mit zunehmendem Ausbaustand Erneuerbarer nicht nur die Erfordernis nach Netzkapazitäten (Leitungen, Umspannwerke, etc.), sondern auch nach Speichern, regelbaren Verbrauchern (z.B. auch in Form von Elektrolyseuren zur Wasserstoffproduktion) und intelligentem Lastmanagement.

4.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung in den Verbrauchssektoren Strom und Wärme

Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die aktuelle Gebäudestruktur mit ihrer aktuellen „Nutzung und Bewirtschaftung“ (keine Berücksichtigung von z.B. Neubaugebieten oder geänderter Produktion in Unternehmen).

Der Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten trägt zu einer Reduzierung des Stromverbrauches und somit auch zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei. Die Ermittlung der Einsparpotenziale erfolgt

in Anlehnung an die EU-Energie-Effizienzrichtlinie (EED) [EED]. Es wird angenommen, dass bezogen auf den Ist-Zustand jährlich 1,5 % des Kraftstrombedarfs eingespart werden können.

Aus Sicht des Bundes kommt auch den Städten und Kommunen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen zu. Die Motivation zur eigenen Zielsetzung und zum Mitwirken 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 Bürgerinnen und Bürger
- die wirtschaftliche Motivation

Auch auf dieser Ebene erfolgt die Ermittlung der Einsparpotenziale in Anlehnung an die EU-Energie-Effizienzrichtlinie (EED) [EED]. Es wird angenommen, dass bezogen auf den Ist-Zustand

- jährlich 1,5 % des Kraftstrombedarfs
- jährlich 1,5 % des thermischen Endenergiebedarfs

eingespart werden können.

Da gewerblich 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 Datenerhebungen erfolgen. Da dieser Aufwand nicht mehr im Verhältnis zu seinem Nutzen stehen würde, erfolgt die Ermittlung der Einsparpotenziale auch in diesem Bereich in Anlehnung an die EU-Energie-Effizienzrichtlinie (EED) [EED]. Folglich wird auch hier vereinfachend angenommen, dass bezogen auf den Ist-Zustand

- jährlich 1,5 % des Kraftstrombedarfs
- jährlich 1,5 % des thermischen Endenergiebedarfs

eingespart werden können.

Somit können die angegebenen Werte der Energieeinsparungen bzw. Effizienzsteigerungen in einem „Effizienzsteigerungsfaktor“ von 1,5 %/a zusammengefasst werden, der realistisch in den Bereichen Wärme und Kraftstrom erreicht werden soll und kann. Rechnerisch folgen daraus Endenergieeinsparungen um ca. 15 % bis zum Jahr 2030 sowie um ca. 27 % bis zum Zieljahr 2040, jeweils bezogen auf den Ist-Zustand.

Eine abweichende Herangehensweise erfolgt bei den Einsparpotenzialen bezüglich des Wärme-Bedarfs der Haushalte.

Ausgehend vom Gebäudebestand und der Gebäudealtersstruktur in den betrachteten Kommunen ([Sta Ba]) wird das energetische Einsparpotenzial durch Gebäudesanierung mit Hilfe eines Algorithmus berechnet, der auf der Grundlage der GIS-Daten lokal, zufällig einzelne Gebäude auswählt und deren Wärmebedarf auf einen vorgegebenen Wert reduziert, wobei der Algorithmus bei seiner Auswahl mit den ältesten Gebäuden beginnt und solange läuft, bis in einem Jahresschritt ein vorgegebener Teil der Gesamtfläche, die sog. Sanierungsrate, virtuell saniert wurde. Hieraus resultiert das Sanierungskataster. Ein beispielhafter Ausschnitt ist in Abbildung 11 dargestellt (vgl. mit Abbildung 3).



Abbildung 11: Exemplarischer Ausschnitt aus dem Sanierungskataster vor und nach der Sanierung im Jahr 2030

Hierbei wird als Zielstellung für die Gebäudesanierung eine ambitionierte Sanierungsrate von 2,0 %/a der gesamten, jeweils noch unsanierten Wohnfläche auf einen Wärme-Bedarf von $100 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (entspricht in etwa dem Standard der Wärmeschutzverordnung 95) festgelegt. Im Landkreis Schwandorf entspricht dies insgesamt einer rechnerischen Wärme-Einsparung der Haushalte um ca. 9 % bis 2030 und ca. 17 % bis 2040.

Im Zuge des Energienutzungsplans werden potenzielle Entwicklungspfade über das Jahr 2030 bis hin zum Zieljahr 2040 vorskizziert (siehe Kapitel 5). Die Entwicklung des Energiebedarfs wird hier aufgezeigt und die Effekte aus den ermittelten Effizienzsteigerungs- und Einsparpotenzialen sowie den prognostizierten Transformationsprozessen und der erforderlichen Sektorenkopplung somit ersichtlich.

4.3 Effizienzsteigerungs- und Transformationsprozesse im Sektor Verkehr

Wie in Kapitel 3.5 geschildert, wurde der Sektor Verkehr vor allem mit Blick auf die stetig wachsende Bedeutung der Sektorenkopplung und in Abstimmung mit dem Landkreis mit in den Energienutzungsplan integriert. Im Bereich Verkehr beinhaltet dies vor allem eine entweder direkte Elektrifizierung der Antriebstechnologien (Batterie-elektrisch) oder eine Elektrifizierung der Antriebe über eine Zwischenstufe (vor allem Wasserstoff).

In Anlehnung an eine im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie e.V. erstellte Studie „Klimapfade für Deutschland“ [BDI], 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 wesentlich energieeffizienter arbeiten als konventionelle Verbrennungsmotoren, geht mit dem Transformationsschritt auch direkt eine Energieeinsparung einher. So weisen per Elektromotor angetriebene KFZ im Vergleich nur noch rund ein Drittel des Energiebedarfs auf, den ein klassischer mit Benzin- oder Dieselmotor angetriebener PKW benötigt.

Die Ist-Situation im Sektor Verkehr wurde in Kapitel 3.5 analysiert und ein mobilitätsbedingter Energieeinsatz im Landkreis von rund 1.337.866 MWh errechnet (davon 20.781 MWh Strom für E-Mobilität). Unter den geschilderten Rahmenbedingungen stiege der Strombedarf durch die sukzessive Elektrifizierung bis zum Zieljahr 2040 von aktuell rund 20.781 MWh auf rund 386.345 MWh an. Rechnerisch verbliebe noch ein Restanteil im Bereich Verkehr von rund 158.050 MWh, der nicht unmittelbar elektrisch abgebildet werden könnte. Er wäre idealerweise durch Kraftstoffe auf regenerativer Basis bereitzustellen. Die erforderliche elektrische Energie muss entsprechend entweder unmittelbar aus erneuerbaren Stromquellen oder indirekt aus erneuerbaren Quellen mit einem Zwischenschritt (überwiegend über Wasserstoff realisiert) zur Verfügung gestellt werden.

Auch diese geschilderten Entwicklungen sind in Kapitel 5 anhand des Entwicklungsszenarios nochmals im Kontext aller Energieströme abgebildet.

4.4 Sektorenkopplung

Für das Erreichen der Klimaneutralität, also eine weitestgehende Defossilierung des Energiesystems, ist es erforderlich, bestimmte Bereiche zu elektrifizieren und damit die Verbrennung fossiler Energieträger zu substituieren. Dies betrifft zum einen, wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, den Sektor Mobilität und zum anderen den Sektor Wärme. Hier werden Wärmepumpen und Power-to-Heat-Anlagen in der Fernwärme-Versorgung zunehmend dazu beitragen Heizöl und Erdgas zu ersetzen. Dementsprechend werden künftig zu dem aktuell nahezu vollständigen Kraftstrom-Bedarf verstärkt die weiteren Anwendungsfelder, nämlich für Heizzwecke und die Elektromobilität, hinzukommen. Infolgedessen wird der Gesamtstrombedarf trotz der Abnahme des Kraftstrombedarfs in Summe in den kommenden Jahren zunehmen.

4.5 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.

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

4.5.1.1 Solarpotenzialkataster

Zur Analyse der Photovoltaik- und Solarthermiepotenziale auf Dachflächen wurde das neu entwickelte, gebäudescharfe Solarpotenzialkataster für den Landkreis Schwandorf ausgewertet (<https://www.solare-stadt.de/landkreis-schwandorf>). 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 12: Auszug Solarpotenzialkataster für den Landkreis Schwandorf [Bildquelle: <https://www.solare-stadt.de/landkreis-schwandorf/>]

4.5.1.2 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 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 $12,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{WF}} \cdot \text{a}$ [GEG] ergibt sich für das Betrachtungsgebiet ein jährlicher Gesamt-Energiebedarf von rund $93.344 \text{ MWh}_{\text{th}}$ für die Wassererwärmung. Das angestrebte Deckungsziel wird auf 60 % festgelegt. Dies entspricht einem Energiebedarf von rund $56.607 \text{ MWh}_{\text{th}}$, der durch Solarthermie gedeckt werden soll. Um dies zu erreichen, werden insgesamt rund 142.000 m^2 an Kollektorfläche benötigt. Diese Fläche wird im Rahmen des Energienutzungsplans gleichzeitig als technisches Potenzial der Solarthermie definiert. Derzeit sind im Betrachtungsgebiet bereits Solarthermieanlagen mit einer Gesamtfläche von knapp 56.000 m^2 installiert, sodass noch ein Ausbaupotenzial von rund 86.000 m^2 besteht.

4.5.1.3 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 $2.001.700 \text{ MWh}/\text{a}$. 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 $1.401.200 \text{ MWh}$ Stromerzeugung pro Jahr zur Verfügung. Dies entspricht einer Gesamtleistung in Höhe von rund $1.474.900 \text{ kW}_p$.

Im Bilanzjahr 2019 waren bereits Module mit einer Gesamtleistung von rund 166.100 kW_p installiert, sodass unter den beschriebenen Annahmen noch ein Ausbaupotenzial von rund $1.308.800 \text{ kW}_p$ besteht.

4.5.1.4 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 2019 waren Freiflächen-PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 55.700 kW_p im Landkreis installiert, die rund 56.402 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

Die Bayerische Verordnung über Gebote für Photovoltaik-Freiflächenanlagen ermöglicht es seit 2017 mit Freiflächen-PV-Projekten auf landwirtschaftlichen Flächen an Ausschreibungen der Bundesnetzagentur teilzunehmen. Grundvoraussetzung dafür ist allerdings, dass sich die landwirtschaftliche Fläche in landwirtschaftlich benachteiligtem Gebiet befindet. Die Einstufung der landwirtschaftlichen Flächen nach den Kategorien benachteiligt / nicht-benachteiligt wurde zuletzt 2019 nach EU-Verordnung neu abgegrenzt.

Große Teile Bayerns liegen in landwirtschaftlich benachteiligtem Gebiet (rot), siehe Abbildung 13, der Landkreis Schwandorf ist vollständig als solches eingestuft.

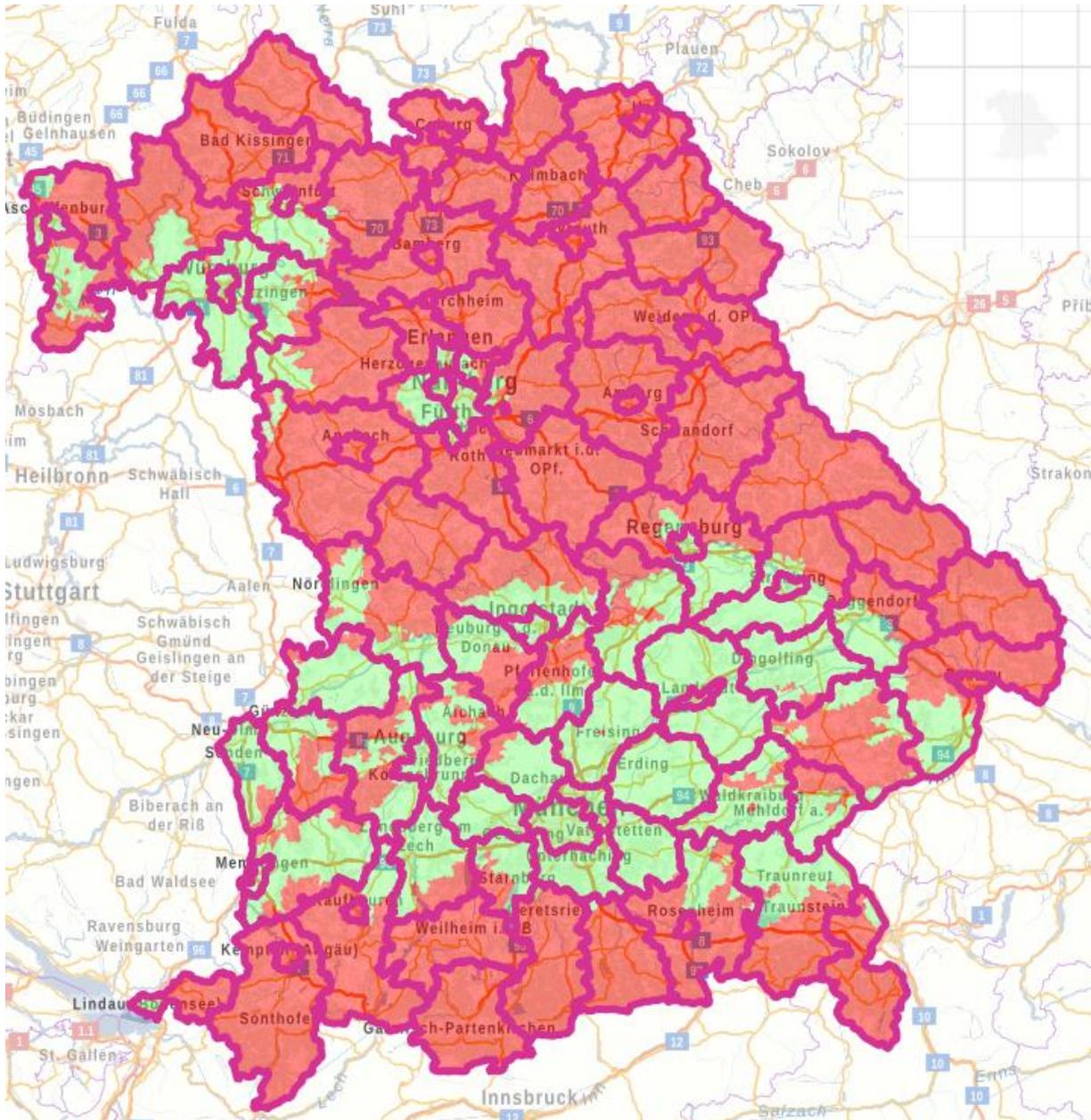


Abbildung 13: Übersicht landwirtschaftlich benachteiligter und nicht-benachteiligter Gebiete im Landkreis [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

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

Tabelle 2: 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
Ungeeignete Vegetationsflächen (Sumpfbereich, Unland, Gehölz)	10 m
Natura 2000 (Vogelschutz-, FFH-Gebiete)	
Festgesetzte Überschwemmungsgebiete	
Rechtlich festgesetzte Ausgleichs- und Ersatzflächen (Ökoflächenkataster)	
Gesetzlich geschützte Biotope und Bodenschutzobjekte	

Ein hervorzuhebender Faktor im Zusammenhang mit Freiflächen-Photovoltaik-Projekten ist der hohe Anteil von Landschaftsschutzgebiet (LSG) im Landkreis. Abbildung 14 verdeutlicht dies und zeigt die Verteilung der betreffende Flächenkulisse im Landkreis (grün).

Um den Einfluss des Faktors Landschaftsschutz zu bewerten, wurden Gespräche mit den fachlich zuständigen Behörden geführt. Grundsätzlich sind Institutionen, wie die Untere Naturschutzbehörde, bei sämtlichen Bauvorhaben dieser Art im Außenbereich mit einzubeziehen – unabhängig davon, ob eine im Landschaftsschutzgebiet befindliche Fläche betroffen ist oder nicht. Innerhalb des LSG sind die Vorhaben nochmals unter anderen Kriterien bewertet. In jedem Fall unterliegt ein Bauvorhaben jeweils einer Einzelfallprüfung, ist aber aus diesen Gesichtspunkten nicht automatisch ausgeschlossen.

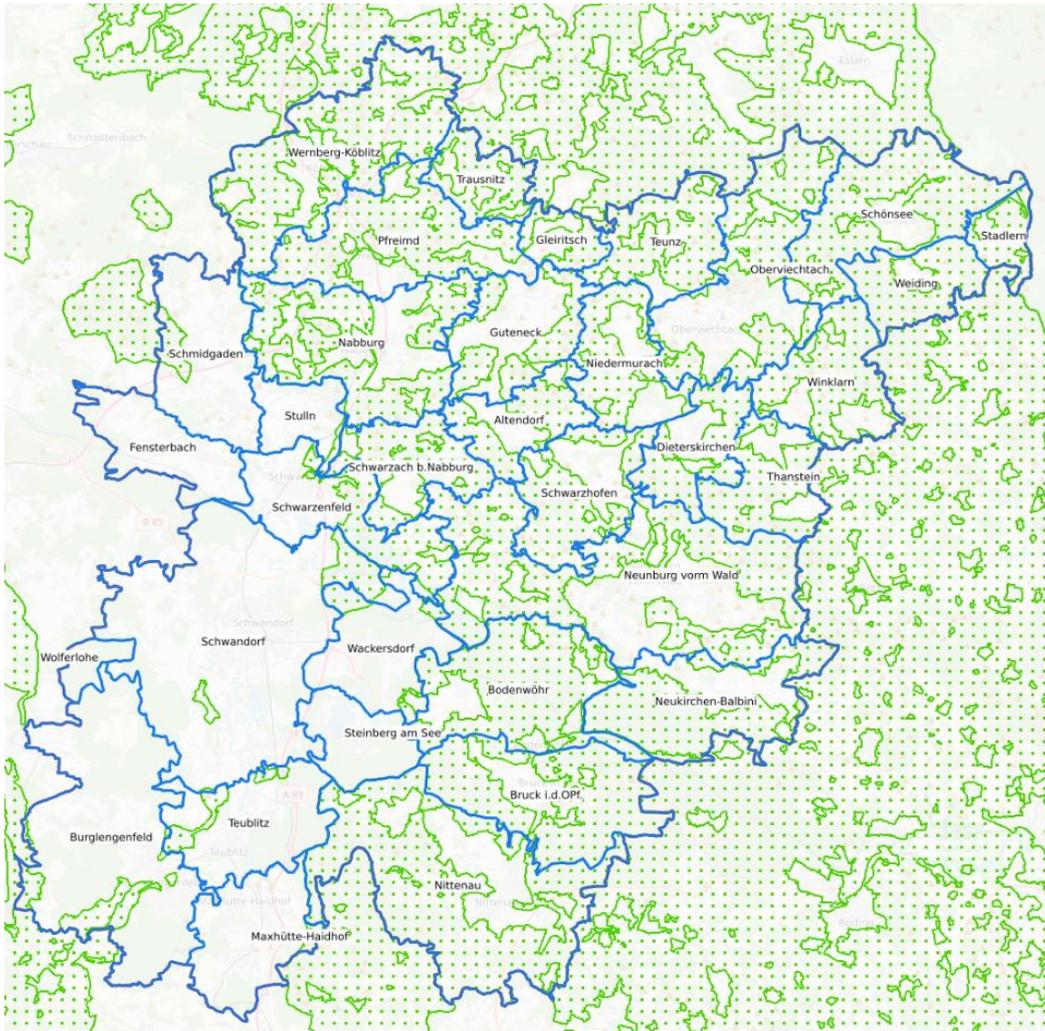


Abbildung 14: Übersicht über die Bereiche des Landschaftsschutzgebietes im Landkreis Schwandorf [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

So wurde in Abstimmung mit der Steuerungsrunde im vorliegenden Konzept der Ansatz definiert, dass in den GIS-Analysen das Kriterium Landschaftsschutzgebiet nicht als ausschließender Faktor für Photovoltaik- oder auch Windkraftprojekte angesetzt wird.

Vielerorts, auch über den Landkreis Schwandorf hinaus, gehen Gemeinden über die im Energienutzungsplan angestellte Analyse hinaus und legen für sich selbst individuelle, noch detailliertere Kriterien fest (Einsehbarkeit, Bodenkennzahlen, individuelle Abstandskriterien, etc.). Hierbei setzen viele Gemeinden den Faktor Landschaftsschutz erfahrungsgemäß nicht explizit als Ausschlusskriterium fest, da anderenfalls beispielsweise wenige bis keine nutzbaren Flächen verbleiben würden.

Auf Basis aller zuvor beschriebenen Ausschlusskriterien konnte eine Übersicht potenziell geeigneter Flächen (gelb) im Landkreis ausgearbeitet werden (Abbildung 15).

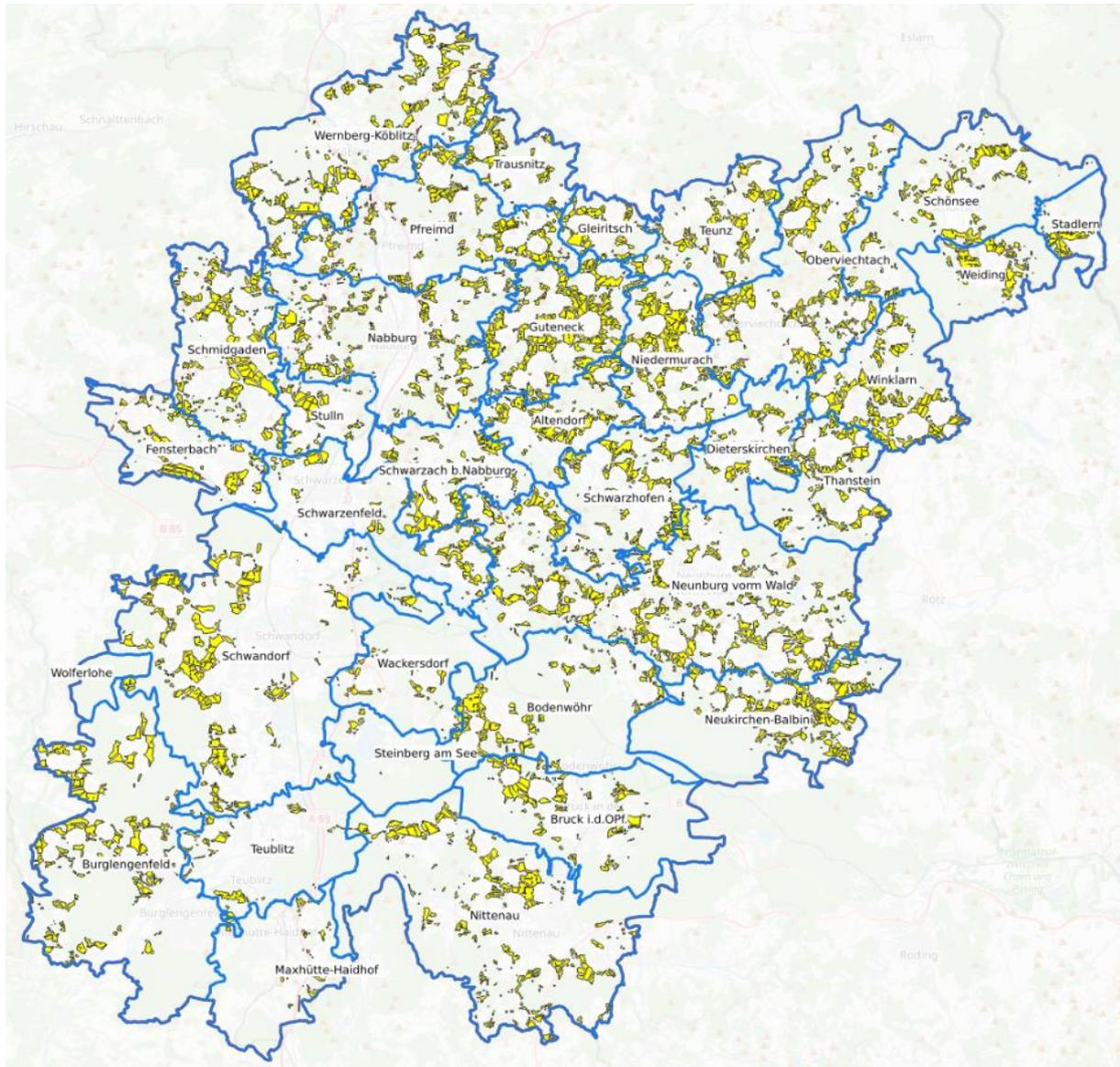


Abbildung 15: Übersicht über das Ergebnis der Analyse der technischen Potenziale im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik im Landkreis [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

Die unter diesen Voraussetzungen verbleibende Flächenkulisse beträgt in Summe rund 14.000 ha. Diese Flächen sind im Sinne der geschilderten Begriffsdefinitionen als technisches Potenzial zu betrachten. Aufgrund der Vielzahl an potenziellen Flächen wird empfohlen, kommunenscharfe 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.

4.5.2 Wasserkraft

Im Landkreis Schwandorf wurden im Jahr 2019 insgesamt 29.258 MWh Strom aus Wasserkraft erzeugt, was bezogen auf den Gesamt-Strombezug im Landkreis rund 3 % darstellt. Zur Analyse der Ausbaupotenziale im Bereich der Wasserkraft wurde auch die fachliche Einschätzung des Wasserwirtschaftsamtes (WWA) Weiden eingeholt und erörtert, ob und inwieweit Ausbau- oder Repowering-Potenziale im Landkreis vorhanden sind.

Die meisten der bestehenden Wasserkraftanlagen im Landkreis sind als eher klein einzustufen (< 500 kW). Nur wenige große bis sehr große Anlagen, wie etwa die Anlagen in Trausnitz (Pfreimdstausee) und Neunburg vorm Wald (Eixendorfer See), existieren zur Zeit. Das Wasserwirtschaftsamt schätzt die allgemeine Lage so ein, dass ein Großteil des energetischen Potenzials durch die vorhandenen Anlagen im Landkreis bereits erschlossen ist.

Perspektivisch zeichnet sich ab, dass die Energieerträge aus Wasserkraft wohl höchstens konstant bleiben. Tendenziell könnten diese sogar rückläufig sein. So ist in den letzten Jahren eine stetig abnehmende Wassermenge zu beobachten. Gleichzeitig haben insbesondere kleine Wasserkraftanlagen bei Neubau oder signifikantem Umbau inzwischen große Hürden zu überwinden. Einerseits sind die Auflagen sehr umfangreich geworden (beispielsweise hinsichtlich der Durchlässigkeit für Fischwanderung), zum anderen sind die Vergütungssätze für den erzeugten Strom gesunken. So werden Kleinanlagen in der Praxis meist nur noch so lange weiterbetrieben und aufrecht erhalten, so lange sie keine

nennenswerten Modernisierungsmaßnahmen erfordern. Sobald dies der Fall ist, führt dies meist dazu, dass Anlagen stillgelegt werden.

Signifikantes Potenzial zur Ertragssteigerung besteht zumeist nur bei großen Wasserkraftwerken. Hier kann vereinzelt über Modernisierungs- und Optimierungsmaßnahmen noch gewisse Mehrausbeute erzielt werden. So kann der Wegfall einzelner Kleinanlagen oder auch die zurückgehende Wassermenge zu gewissem Grad abgefedert werden.

Deshalb wird, auch in Abstimmung mit der Steuerungsrunde, für das Ausbauszenario die Annahme definiert, dass die Energieerzeugung aus Wasserkraft mittelfristig annähernd konstant zum Ist-Zustand bleibt.

Eine im Zusammenhang mit der Wasserkraft im Landkreis zu nennende Besonderheit ist das Pumpspeicherkraftwerk in Trausnitz. Die gesamte Kraftwerksanlage (Kraftwerksgruppe Pfreimd), gelegen an der Pfreimd, erstreckt sich über mehrere Abschnitte und Teilanlagen verteilt auf die Gemeinden Trausnitz und Tännesberg (Landkreis Neustadt a. d. Waldnaab). Die Gesamt-Anlage besteht aus zwei Pumpspeicher-, sowie drei Laufwasserkraftwerken. Auf der Gemarkung Trausnitz stehen davon ein Laufwasser- und ein Pumpspeicher-Kraftwerksteil. Der zugehörige Hochbehälter steht auf der Gemarkung Tännesberg im Landkreis NEW. Das Kraftwerk operiert auf zwei Spannungsebenen am Bayernwerk-Stromnetz und speist hier jeweils den generierten Strom ein, bezieht aber auch Strom für die einerseits vorhandenen Subsysteme und Nebenaggregate (Kraftwerkseigenverbrauch) und andererseits für das Befüllen des Hochspeichers. Der Pumpspeicher-Kraftwerksanteil ist dabei auch ausgelegt für das Bereitstellen von Regeldienstleistungen zur Netzstabilisierung.

Insbesondere im Zusammenhang mit der zunehmenden Volatilität der Energieerzeugung (Stromgewinnung erfolgt primär auf Basis von Wind und Sonne) sind Großspeicher allgemein von noch größerer und weiter steigender Bedeutung.

4.5.3 Biomasse/Biomasse-KWK

4.5.3.1 Holz für energetische Nutzung

Der Landkreis Schwandorf weist eine Waldfläche von rund 62.737 ha auf. Davon sind rund 647 ha gemeindefreie Forsten. [Sta Ba]

Über die aus den Auswertungen von Referenz-Kaminkehrerdaten abgeleiteten Kennwerte und Fragebögen kann errechnet werden, dass im Jahr 2019 in etwa 286.581 MWh Endenergie aus Biomasse bereitgestellt wurden (vergleiche Kapitel 3.3.2). Somit trägt Biomasse (Hackschnitzel, Pellets, Scheitholz) zu rund 10 % zur Deckung des thermischen Energiebedarfs im Landkreis bei.

Die Nutzung holzartiger Biomasse spielt vielerorts im Landkreis bereits eine tragende Rolle. So ergab die Auswertung der vorhandenen Datenquellen (Kapitel 3.1.2), dass insbesondere einige der ländlichen Kommunen einen Biomasseanteil an der Wärmebereitstellung von mehr als 30 % aufweisen, überwiegend zurückzuführen auf dezentrale, private Feuerstätten. Darüber hinaus wurden im Zuge der Datenerhebung (z.B. über Fragebögen) verschiedene große Heizanlagen bzw. KWK-Anlagen auf Basis holzartiger Biomasse identifiziert. So befindet sich beispielsweise in Nittenau ein sehr großes Heizwerk auf Hackschnitzel-Basis, welches die Liegenschaften des Schulzentrums miteinander verbindet. Auch mehrere Industriebetriebe nannten vorhandene Hackschnitzel- oder Holzpellet-Anlagen. Weitere größere Anlagen in beispielsweise Schulen oder kleineren Verbundsystemen im Landkreis sind darüber hinaus vorhanden.

Zur Analyse des technischen Gesamtpotenzials an Holz für die energetische Nutzung wurde die Expertise des zuständigen Amtes für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, sowie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) hinzugezogen. Insbesondere aktuelle Berechnungen der LWF stellen eine wesentliche Grundlage für die Potenzialanalyse im Bereich der holzartigen Biomasse dar.

Im Wesentlichen sind drei Quellen in diesem Zusammenhang von Bedeutung: Waldderbholz, Flur- und Siedlungsholz sowie Altholz. Während das LWF detaillierte Betrachtungen zu den Punkten Waldderbholz und Flur- und Siedlungsholz angestellt und veröffentlicht hat, so konnte das Aufkommen an Altholz mit Hilfe der vorliegenden Abfallstatistiken ermittelt werden.

Energieholz aus Forstwirtschaft

Die Betrachtungen der LWF in Bezug auf Waldderbholz geben die jährlich anfallende Energiemenge aus Holz oberhalb der Derbholzgrenze (> 7 cm Durchmesser) an. Das potenzielle Holzaufkommen wurde auf Basis von Stichprobenflächen der dritten Bundeswaldinventur und unter Berücksichtigung

von LWF-eigener Studien zum Waldumbau (im Zusammenhang mit der Anpassung der Wälder an den Klimawandel) ermittelt. Der energetisch nutzbare Anteil am Holzaufkommen wurde aus bekannten Holzeinschlagserhebungen, aus welchen die unterschiedliche Sortierungspraxis von Kleinprivatwald und größeren Forstbetrieben ersichtlich ist, abgeleitet. Der Anteil des Energieholzes in Privatwäldern ist beispielsweise größer, als in von großen Forstbetrieben bewirtschafteten Wäldern. Flächen der Besitzarten und -größen konnten über das automatisierte Liegenschaftsbuch ermittelt werden. Nach Analysen der LFW beläuft sich das energetische Potenzial somit auf 573.694 MWh.

Flur- und Siedlungsholz

Auch bei der Analyse des Aufkommens an Flur- und Siedlungsholz wurde auf Berechnungen der LWF zurückgegriffen [LWF]. Es handelt sich dabei um eine Potenzialberechnung unter Verwendung unterschiedlicher Fernerkundungs-, Modellierungs- und Inventurdatensätze. Es gibt die erzielbare Energiemenge aus Gehölzen, Hecken und Bäumen im Offenland an. Basis sind unter anderem Flächendaten aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) und digitalen Oberflächenmodellen (nDOM). Zudem wird sich auch hier auf Daten aus der dritten Bundeswaldinventur und die damit in Verbindung stehende Analyse von Stichprobenflächen gestützt.

Die LWF merkt an, dass es sich dabei um das theoretisch vorhandene Energiepotenzial handelt und nicht final abgeleitet werden kann, zu welchem Grad diese theoretischen Potenziale in der Praxis tatsächlich nutzbar gemacht werden können.

In Summe beträgt das theoretische Potenzial 34.472 MWh. Letztlich werden (unter anderem aus Gründen der Erfordernis der Wälder als CO₂-Senke und möglicher klimatischer Einflüsse) nicht 100 % des theoretischen Potenzials technisch nutzbar sein. Dies wird später mit einem Abschlagsfaktor berücksichtigt. Somit kann das hier angegeben theoretische Potenzial als legitime Größe für das spätere Ausweisen eines technischen Potenzials betrachtet werden.

Altholz

Laut Abfallbilanz fielen im Jahr 2019 im Betrachtungsgebiet pro Einwohner 20 kg Altholz an [LfU Altholz]. Ähnlich wie zuvor beim Aufkommen an Landschaftspflegeholz, steht auch diese Menge nur theoretisch vollständig zur Verfügung. In der Praxis wird diese Fraktion allerdings nur zu etwa der Hälfte einer energetischen Verwertung zugeführt. Die andere Hälfte erfährt eine stoffliche Verwertung. Unter Berücksichtigung der Einwohnerzahl im Betrachtungsgebiet steht somit eine Altholz-Menge von rund 3.300 t zur energetischen Nutzung zur Verfügung, was einer Energiemenge von rund 7.275 MWh/a entspricht.

Zusammenfassung feste Biomasse

In Tabelle 3 ist das technische Potenzial zur Energiebereitstellung aus holzartiger Biomasse zusammenfassend aufgelistet.

Tabelle 3: Zusammenfassung des rechnerischen, territorialen Gesamtpotenzials im Bereich fester Biomasse

Energiebereitstellung		
Energieholz aus Waldbeständen	MWh/a	573.694
<u>zusätzlich:</u>		
Flur- und Siedlungsholz	MWh/a	34.472
Altholz	MWh/a	7.275
Rechnerisches Gesamtpotenzial	MWh/a	615.442

In Summe beträgt das rechnerische Gesamtpotenzial an fester Biomasse im Landkreis rund 615.442 MWh, wovon aktuell rund 286.581 MWh genutzt werden. Das Ausbaupotenzial beträgt rechnerisch also 328.861 MWh.

Wie aber vorher bereits beschrieben wird dieses ermittelte Gesamtpotenzial als nicht zu 100 % zu erschließen angesehen. Einerseits da von Seiten der LWF nicht exakt beziffert werden kann, wieviel des Flur- und Siedlungsholzes in der Praxis tatsächlich energetisch nutzbar gemacht werden kann. Andererseits aufgrund des Faktors, dass der Wald eine wesentliche CO₂-Senke darstellt und durch klimatische Einflüsse auch sukzessive in seiner CO₂-Speicherkapazität beschränkt wird. Zudem ordnet die LWF das Potenzial zunächst auf einen zeitlichen Horizont von zwischen 15 und 20 Jahren ein. Anschließend könnten die den regionalen Wäldern zu entnehmenden energetischen Potenziale beispielsweise aufgrund des bis dato fortgeschrittenen Waldumbaus tendenziell zurück gehen.

In Abstimmung mit der Steuerungsrunde wurde für das Aufstellen der Entwicklungsszenarien daher angenommen, dass höchstens 50 % des vorhandenen, nachhaltigen, energetischen Ausbaupotenzials tatsächlich noch erschlossen werden können (rund 164.430 MWh).

Holz als alleinige Energiequelle zur mittel- und langfristigen Substitution von Öl und Erdgas wird nicht ausreichen. Es sollten kluge Strategien umgesetzt werden, z. B. der Aufbau kleinerer Wärmeverbundlösungen in Ortsteilen mit Holz als Bestandteil einer gesamtheitlichen Versorgungsstrategie (z. B. Zusammenspiel aus Biomassekessel, Wärmepumpe, Photovoltaik oder Solarthermie). Die aktuell formulierten Bundesziele, die zuletzt im Zusammenhang mit der sogenannten kommunalen Wärmeplanung

veröffentlicht wurden, besagen, dass es gewünscht ist energetisch nutzbare Biomasse vor allem in Bereichen zu verwenden, in denen die Energie nicht auf andere nachhaltige Weise zur Verfügung gestellt werden kann (z.B. über Abwärme, Wärmepumpen, regenerativer Strom, usw.). Dies zielt beispielsweise auf industrielle Prozessenergie ab.

4.5.3.2 Biogas / Biomasse-KWK

Der Begriff Biomasse-KWK beinhaltet nicht nur die klassischen Biogasanlagen, sondern vereint sämtliche Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, die auf der Basis von Biomasse Strom und Wärme generieren. Zumeist ist jedoch der Hauptanteil von Biomasse-KWK-Systemen auf der Basis von Biogas betrieben. Häufig sind noch (meist kleinere) Anlagen mit enthalten, die entweder auf der Basis von Biomethan oder Pflanzenöl betrieben werden oder auch kleinere Holzvergaser-Anlagen. Auch Klärgas-BHKWs sind in dieser Kategorie mit eingeschlossen.

Das Thema energetische Biomassenutzung spielt im Landkreis Schwandorf eine signifikante Rolle. Im Ist-Zustand, also zum Bilanzjahr 2019, werden im Landkreis gut über 60 Biogasanlagen betrieben. Zusammen mit den restlichen Biomasse-KWK Systemen tragen sie rund 22 % zum Mix der vorhandenen erneuerbaren Stromerzeuger bei. Bezogen auf den Gesamt-Strombedarf des Landkreises beträgt der Beitrag rund 12 %.

Die energetischen Potenziale für die Biomasse-KWK sind insbesondere in Schwandorf auch direkt verknüpft mit dem Thema Biomethan, also einem Produkt des Vergärungsprozesses von Biomasse, welches letztlich chemisch identisch zu herkömmlichem Erdgas aufbereitet ist. Dazu ist der klassischen Fermentierung von Biomasse eine zusätzliche Reinigungs- und Aufbereitungsstufe nachgeschaltet, die eine Einleitung des Gases in das bestehende Erdgas-Verteilnetz ermöglicht. „Gefüttert“ werden diese Anlagen, ebenso wie klassische Biogasanlagen, mit Substraten wie Mais, Grassilage, biogenen Abfallstoffen und dergleichen. Sie stellen daher eine Konkurrenz zur Biomasse-KWK dar und sind in der Betrachtung als bestehender Verbraucher mit berücksichtigt. Ausnahme ist dabei die Biomethananlage der Molkerei in Schwarzenfeld, die rein mit Reststoffen aus der Molkerei selbst betrieben wird und daher unmittelbar keine Energiepflanzen verwendet.

Abhängig von der Entwicklung landwirtschaftlicher Betriebe im Betrachtungsgebiet und klimatischer Effekte auf die Erträge aus bestehenden landwirtschaftlichen Flächen, können i.d.R. im landkreisweiten Mittel maximal 10-20 % der landwirtschaftlichen Nutzflächen nachhaltig zum Anbau von Energiepflanzen herangezogen werden. Hinzu kommen Potenziale aus der energetischen Verwertung von Gülle, Klärschlamm und biogenen Abfallstoffen. So ergibt sich ein rechnerisches Gesamtpotenzial zum Betrieb von Biomasse-KWK-Anlagen mit einer jährlichen Stromerzeugung von ca. 99.129 MWh. Dabei ist das Substrat, was rechnerisch für die Gaserzeugung in der Biomethananlage Schwandorf benötigt wird, bereits abgezogen.

Holzvergaser-Anlagen bzw. Heizkraftwerke auf der Basis von holzartiger Biomasse sind im Ausbaupotenzial zu Biomasse-KWK nicht mit enthalten. Es ist anzunehmen, dass der Hauptteil, der zur Verfügung stehenden Biomasse Holz (wie bisher) in klassischen Verbrennungsprozessen und nicht in Kraft-Wärme-Kopplungs-Prozessen verwendet wird. Somit sind die diesbezüglich analysierten Stoff- und Energiemengen in der Kategorie Energieholz enthalten (Kapitel 4.5.3.1).

Im Ist-Zustand erzeugen die Biomasse-KWK-Anlagen im Landkreis jährlich rund 132.868 MWh. Dementsprechend ist das nachhaltig vorhandene Potenzial im Landkreis rechnerisch bereits überbeansprucht. Es muss im Zuge dessen aber beachtet werden, dass die Versorgung von Biogasanlagen mit Substrat in der Praxis auch über die Grenzen der Gemeinden, Landkreise und (besonders im Falle der östlichen Kommunen des Landkreises) sogar über Bundesgrenzen (Tschechien) hinweg erfolgt und somit auch Substrat in den Bilanzraum des Landkreises importiert wird. Wieviel mögliches Substrat über die Grenzen des Bilanzraums hinweg verbracht werden, ist nicht zu quantifizieren.

In Abstimmung mit der Steuerungsrunde wurde daher ein Szenario im Rahmen des Energienutzungsplans entwickelt, welches davon ausgeht, dass die Biogasleistung auch langfristig in dieser Form konstant bleibt. Das bedeutet, dass man innerhalb des Szenarios auch weiterhin von einem Substratimport in den Landkreis ausgeht.

Die Auswertung der an die Biogasanlagenbetreiber versandten Fragebögen (20 von 62 Fragebögen kamen zurück) zeigt, dass im Bereich der Abwärmenutzung die anfallende Abwärme bisher nur teilweise hochwertig (z.B. in Wärmenetzen) genutzt wird. Aus der Rückmeldung auf die Fragebögen und aus den Gesprächen mit den Vertretern der Kommunen konnte identifiziert werden, dass Potenzial an Wärmeauskopplung aus den bestehenden Anlagen durchaus in signifikanter Größenordnung gegeben ist. Ein hoher Anteil der Wärme wird aktuell für Trocknungsprozesse (Mais, Holz, Gärreste, sonstige landwirtschaftliche Produkte) eingesetzt. Wieviel der Wärme genau, ließ sich aus der vorhandenen Datenbasis nicht beziffern.

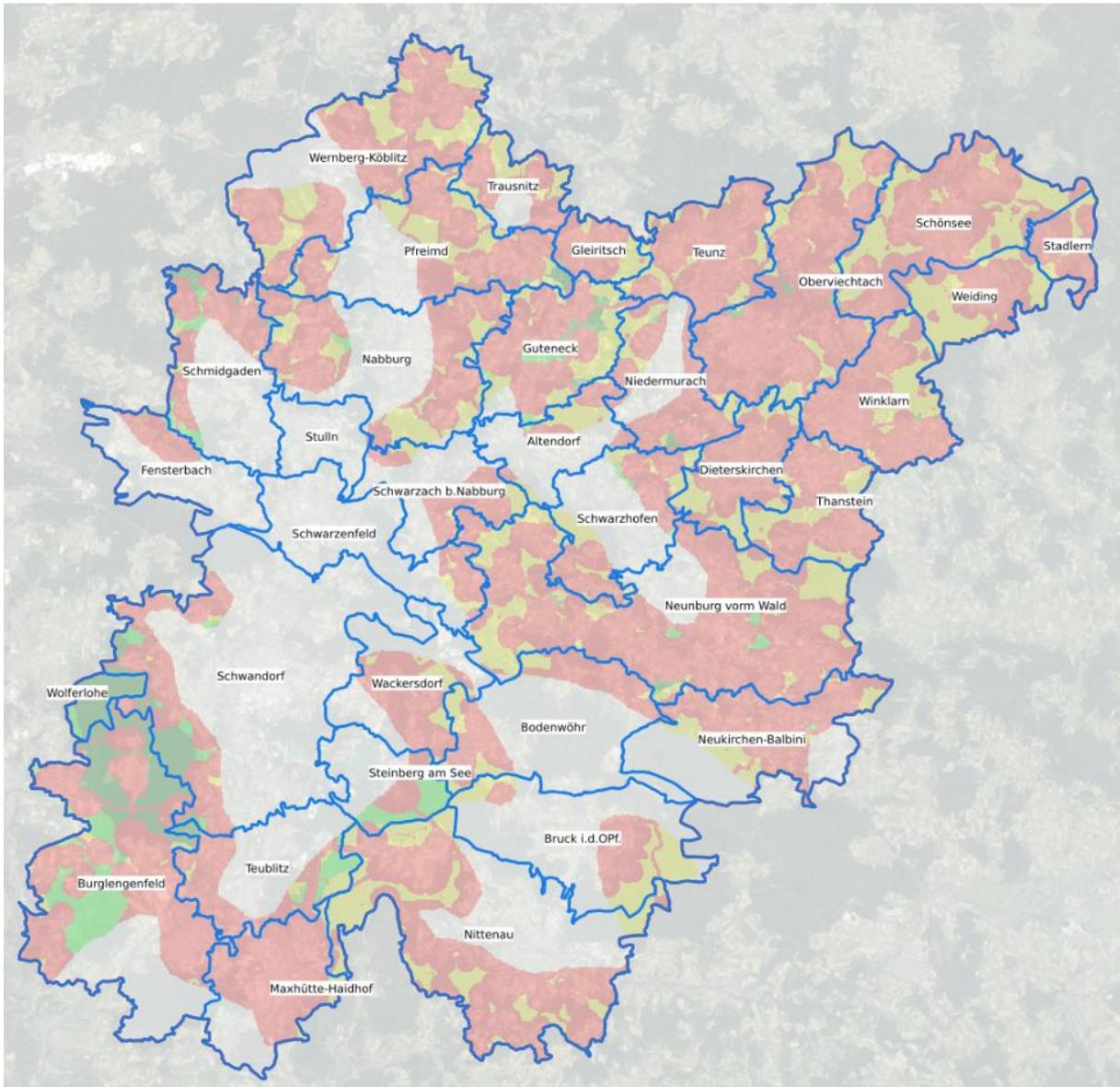
Das skizzierte Szenario nimmt an, dass die Biogasleistung aus dem Ist-Zustand in etwa konstant bleibt. Die rechnerische Wärmeauskopplung, die unter diesen Umständen möglich wäre, läge bei rund 94.406 MWh (dabei wurde ein Anteil Eigenbedarf zur Fermenter-Beheizung bereits abgezogen). Diese Abwärme kann insbesondere bei Nutzung in Wärmenetzen einen wertvollen Beitrag leisten, fossile Energieträger wie Öl und Gas zu ersetzen. Vielerorts in Bayern lässt sich feststellen, dass Biogasanlagen hinsichtlich einer sinnvollen Wärmenutzung eher deplatziert errichtet wurden. Bei Neuanlagen müsste verstärkt ein Augenmerk auf eine intelligente Verortung für eine sinnvolle Einbindung der Abwärmennutzung und somit auch zur maximal effizienten Ausnutzung des Energiegehalts der eingesetzten Substrate gelegt werden.

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 vieldiskutierten Energieformen 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 von Biomasse, KWK-Anlagen und – mit Abstrichen – Wasserkraft von großer Bedeutung für die Stabilität des zukünftigen Energiesystems. Andererseits sehen Behörden und Fachverbände auch als wichtige zukünftige Anforderung, die Verbesserung der Flächeneffizienz von Biogasanlagen. So wird zukünftig auch verstärkt eine Nutzung von biogenen Abfallstoffen angestrebt.

4.5.4 Windkraft

Im Bilanzjahr 2019 waren 11 Groß-Windkraftanlagen im Landkreis Schwandorf installiert, die rund 48.840 MWh an Strom generierten.

Für die Potenzialanalyse im Bereich Windkraft wurde im ersten Schritt auf die „Gebietskulisse Windkraft“ des Bayerischen Landesamts für Umwelt aus dem Jahr 2016 zurückgegriffen (Abbildung 16). Die Gebietskulisse Windkraft bietet eine Erstbewertung windhöffiger Gebiete aus umweltfachlicher Sicht hinsichtlich ihrer Eignung als Potenzialflächen zur Windenergienutzung. Sie ersetzt nicht die immissionsschutzrechtliche Genehmigung und ein etwaiger Rechtsanspruch (etwa auf eine Genehmigung) lässt sich daraus nicht ableiten. Die sog. „10-H-Regelung“ und die kommunale Planungshoheit bleiben davon unberührt.



Legende

- für WEA vermutlich geeignete Flächen
(mittl. Windgeschwindigkeit ab 5 m/s in 130 m Höhe)
- für WEA vermutlich geeignete Flächen
(mittl. Windgeschwindigkeit 4,5 - 4,9 m/s in 130 m Höhe)
- für WEA im Einzelfall eventuell geeignete Flächen
(sensibel zu behandelnde Flächen)
- Vogelschutzgebiete nach europ. Schutzbestimmungen (SPA)
(regelmäßige Ausschlussgebiete für WEA)
- für WEA voraussichtlich nicht geeignete Flächen
(Ausschlussgebiete)
- nicht untersuchte Flächen
(mittl. Windgeschwindigkeit unter 4,5 m/s in 130 m Höhe)

Abbildung 16: Auszug aus der Gebietskulisse Windkraft [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de)], Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

Mit dem Thema Landschaftsschutzgebiet wurde in dieser Betrachtung analog zu der in Kapitel 0 im Zusammenhang mit Freiflächen-Photovoltaik geschilderten Vorgehensweise verfahren.

Kombiniert wurden die geschilderten immissions- und umweltfachlich erforderlichen Mindest-Abstandsregularien mit 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.

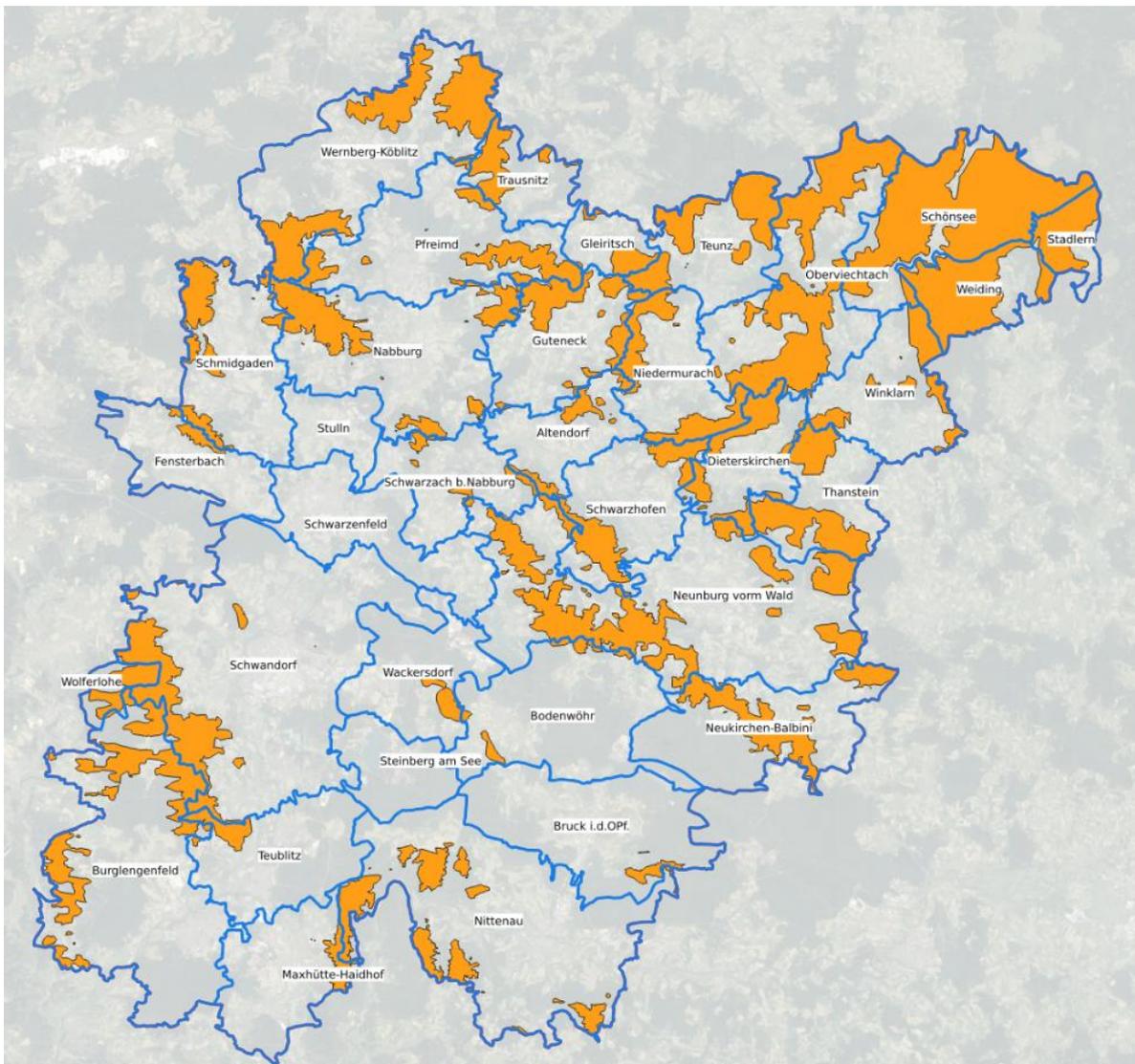


Abbildung 17: Darstellung der Gebiete im Landkreis mit Mindestwindleistungsdichte größer 200 W/m^2 in 160 m Höhe [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

Die zuvor beschriebenen Ausschlussflächen in Kombination mit der Mindest-Windleistungsdichte ergeben somit folgendes Bild für den Landkreis Schwandorf.

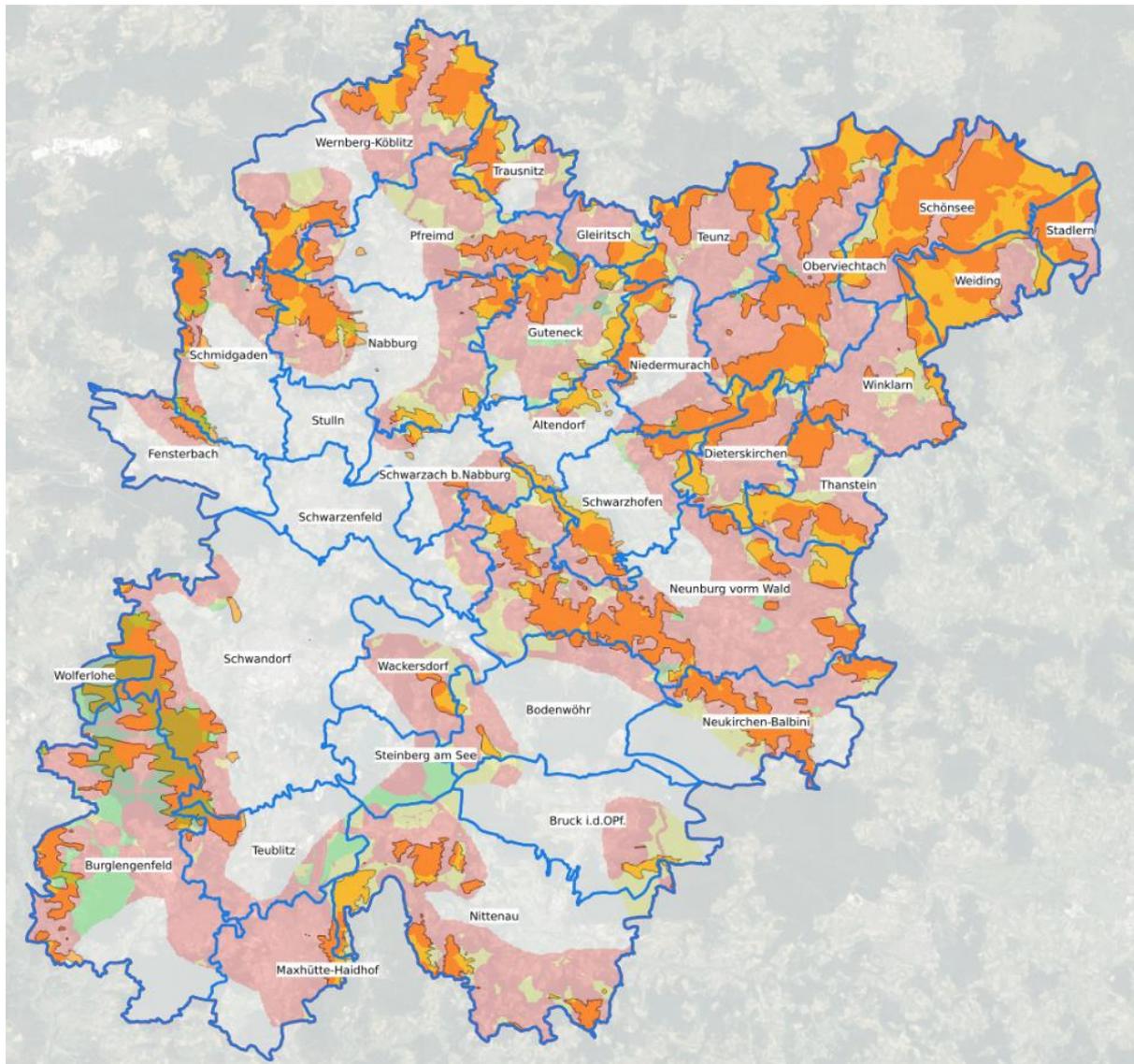


Abbildung 18: Gebietskulisse Windkraft des LfU kombiniert mit der festgelegten Mindest-Windleistungsdichte [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

So zeigt sich, dass es eine Vielzahl von einzelnen Gebieten gibt, die sich für Windenergie, sowohl von der Windhöflichkeit, als auch vor dem Hintergrund der umweltfachlichen Kriterien eignen würden. Wie geschildert muss aber jeder Standort im Einzelfall noch konkreter untersucht und individuell beleuchtet werden, um die letztliche Eignung final bewerten zu können. Auch nimmt diese Betrachtung noch keine Rücksicht auf die in Bayern geltenden Einschränkungen durch die 10-H-Regelung.

Im Allgemeinen stellt die Windenergie im Außenbereich ein privilegiertes Bauvorhaben dar. Diese Privilegierung geht einher mit eher vereinfachten Genehmigungsverfahren. In Bayern wurde diese Privilegierung mit Einführen der 10-H-Regelung deutlich eingeschränkt. So war es (mit wenigen Ausnahmen) seither erforderlich einen Mindestabstand des 10-fachen der Gesamthöhe einer Windenergieanlage zu Bebauungsgebieten oder bebauten Ortsteilen vorzuweisen, um ein Windkraft-Projekt noch als privilegiertes Bauvorhaben umsetzen zu können. Die verbleibende Flächenkulisse in Bayern wurde dadurch äußerst gering. Auch im Landkreis Schwandorf war damit nahezu die vollständige Gebietsfläche betroffen. Windkraftprojekte hätten in Bayern somit vielerorts nur innerhalb des 10-H-Radius' und somit mit aufwändigeren Genehmigungsprozessen und einem entsprechenden kommunalen Bauleitverfahren umgesetzt werden können. Auch die entsprechend erforderliche Öffentlichkeitsbeteiligung führte letztlich vielerorts zum Scheitern von Projekten.

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 Schwandorf wieder eine deutlich größere Gebietskulisse für die Windenergie als privilegiertes Bauvorhaben.

Abbildung 19 zeigt die Areale, die sowohl aus der zuvor dargestellten Vorprüfung des LfU (Abbildung 16) voraussichtlich für Windenergie geeignet sind und gleichzeitig nach neuer BayBO auch außerhalb des nach 10-H erforderlichen Mindestabstands liegen.

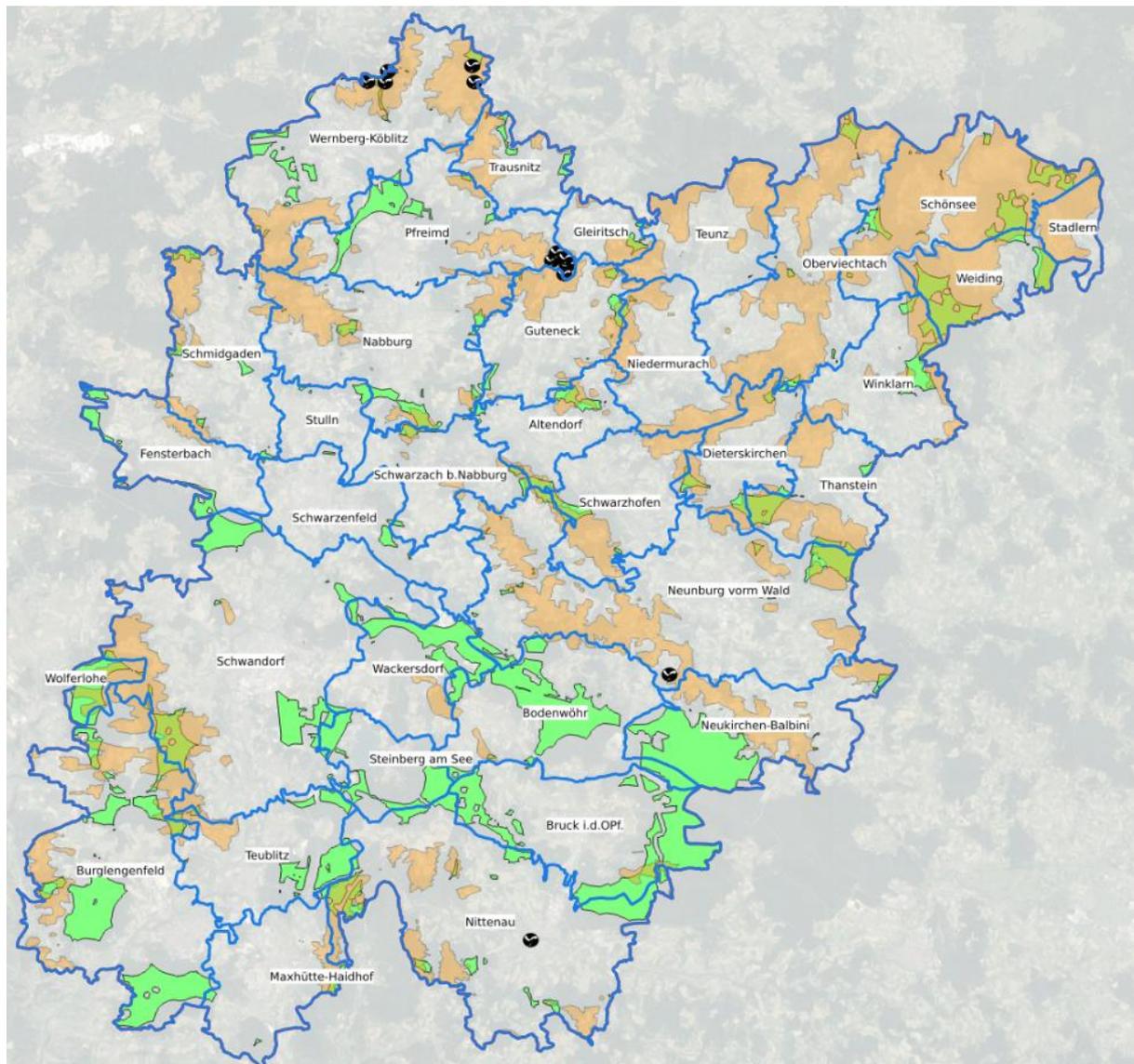


Abbildung 19: Übersicht potenziell nutzbarer Gebiete für Windkraftanlagen [Energie-Atlas Bayern (www.energie-atlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

Viele Flächen liegen in eher weniger windhöffigen Bereichen, aber insbesondere in den östlichen und nordöstlichen Gemeinden des Landkreises und im süd-südwestlichen Teil ergeben sich vielerorts Areale, in welchen sich die Bedingungen günstig darstellen. Idealerweise ergäbe sich somit eine geeignete Flächenkulisse von rund 3.600 ha. Dies entspricht in etwa 2,5 % der Gebietsfläche des Landkreises. Das dem Freistaat vorgegebene, langfristige Ziel ist das Ausweisen von rund 1,8 % der Gebietsfläche für Windkraft-Projekte, wobei es aufgrund der Windverteilung in Bayern Landkreise geben wird, die dieses Ziel nicht erfüllen können, was wiederum erfordert, dass andere Landkreise dieses Ziel über-erfüllen.

Eine erste konservative Abschätzung zeigt, dass innerhalb dieser Gebietskulisse mehr als 80 Anlagenstandorte möglich wären. Die genaue Anzahl der tatsächlich möglichen Standorte innerhalb dieser Flächenkulisse ist im Rahmen des Energienutzungsplans nur näherungsweise zu beziffern, da für den jeweiligen Abstand der Windkraftanlagen untereinander Faktoren wie Haupt- und Nebenwindrichtung relevant sind, über die keine verwertbare Datengrundlage vorliegt. Zudem kann der automatisierte, GIS-basierte Ansatz kleine Flächen zum Teil nicht erfassen, weshalb einige mögliche Standorte durch das Raster fallen können.

Dieser Ansatz wurde dann in Abstimmung mit der Steuerungsrunde für das Aufstellen der Entwicklungsszenarien herangezogen.

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.

4.5.5 Heizstrom

In den Bereich Heizstrom als ein derzeit enorm an Bedeutung gewinnender Energieträger im Wärme-Sektor fallen Power-to-Heat-Anlagen sowie vor allem die Wärmepumpen. Diese stellen die Wärme lokal emissionsfrei zur Verfügung. Im Gegensatz zu den in 4.5.6 beschriebenen Potenzialen oberflächennaher Geothermie ist der Einsatz von Luft-Wärmepumpen nahezu überall möglich. Bei Nutzung von Grünstrom kann sogar die komplette Prozesskette als regenerativ betrachtet werden.

Bundespolitisch wurde daher die Vorgabe [BMWi] formuliert, dass bis zum Jahr 2030 in den ca. 16 Millionen deutschen Einfamilienhäusern 6 Millionen Wärmepumpen installiert sein sollen. Dieses Ziel wird für das Entwicklungsszenario übernommen, indem die Anzahl der Wärmepumpen, die anteilig an diesem Ziel in einer Gemeinde installiert werden müssten, ermittelt und deren Verbräuche bzw. Wärmebereitstellung in die Bilanzen übernommen werden. Demnach müssten bis 2030 beispielsweise im Landkreis Schwandorf ca. 13.600 Wärmepumpen installiert sein.

Im Ist-Zustand liegt die Zahl der Heizstrom-Abnehmer (abzgl. Nachtspeicheröfen) bei rechnerisch ca. 3.000 Stück. Die Anzahl ist nicht exakt zu beziffern, da die Energieversorger zwischen Wärmepumpen und sonstigen, direkt gemessenen Heizstromverbrauchern keine Differenzierung vornehmen oder vornehmen können.

Für die darauffolgenden zehn Jahre bis 2040 wird im Entwicklungsszenario angenommen, dass der bis 2030 erreichte Wärmepumpen-Bestand verdoppelt werden kann. Der Stromaufwand für den Betrieb dieser Wärmepumpen läge dabei bei rund 206.981 MWh. Zum Bilanzjahr 2019 wurde für Stromheizungen rund 31.570 MWh Strom benötigt.

4.5.6 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 Kältegewinnung
- 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 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.

Die Tiefengeothermie nutzt Erdwärme auf hohem Temperaturniveau in Tiefen ab 400 m. Eine Quantifizierung dieses Potenzials ist im Rahmen des Energienutzungsplans nicht möglich.

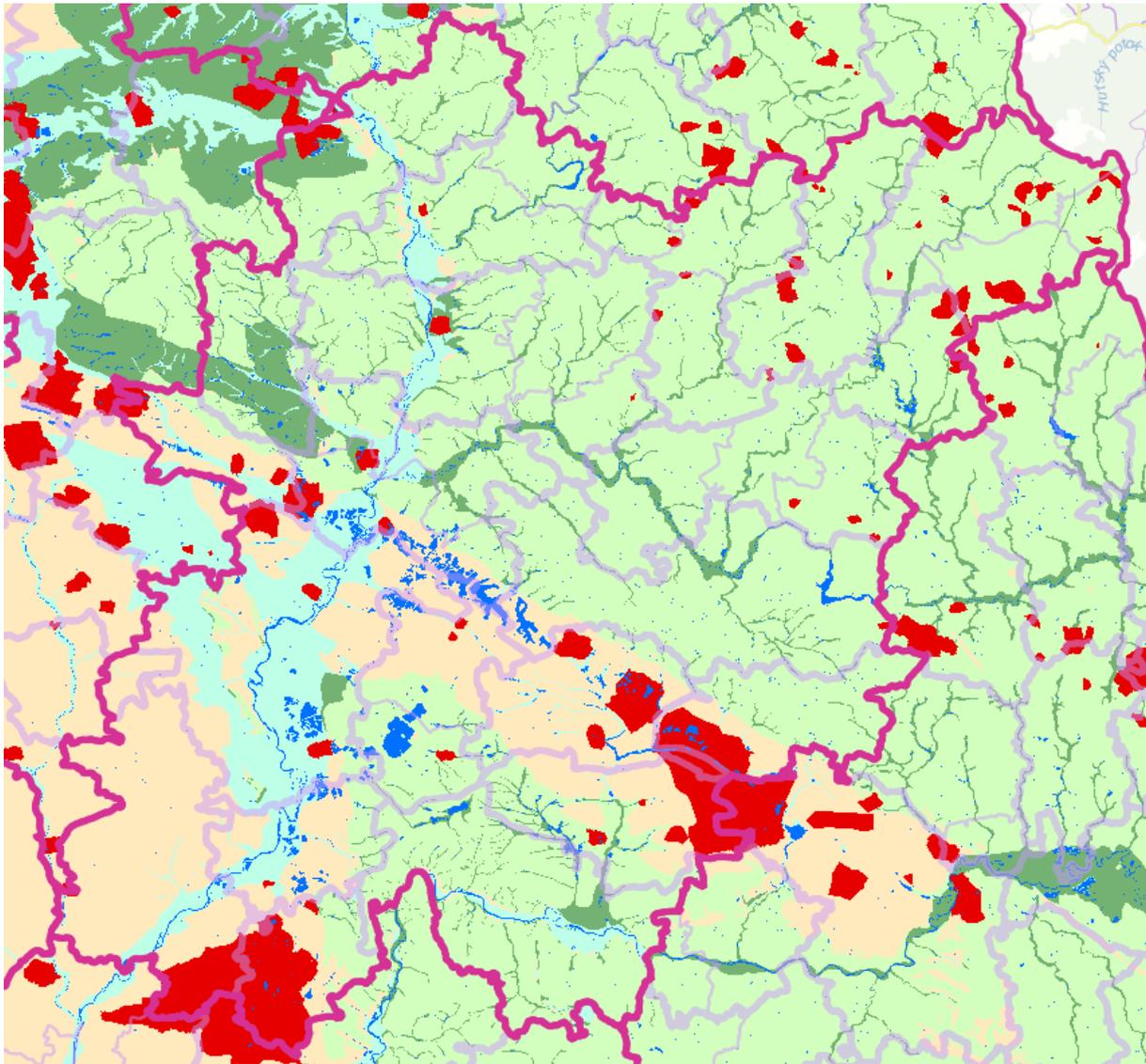
Potenzialermittlung Oberflächennahe Geothermie

Zur Ermittlung der Potenziale oberflächennaher Geothermie wurde auf hydrogeologische Daten des Geologischen Dienstes des Landesamtes für Umwelt zurückgegriffen. In Abbildung 20 ist die Standortteignung oberflächennaher Geothermie im Landkreis dargestellt. Es zeigt sich, dass viele Gebiete im Landkreis grundsätzlich für die Nutzung oberflächennaher Geothermie geeignet erscheinen. Größere Bereiche im Osten des Landkreises sind aber, diesen Analysen nach, ausschließlich für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie mittels Kollektoren, aber nicht für das Legen von Sonden, geeignet. Zudem zeigen diese Analysen, dass einzelne Gemeinden im Westen wie z.B. Schwaig, Rückersdorf oder die Stadt Röthenbach zum großen Teil aufgrund des Gewässerschutzes nicht für die Nutzung von Geothermie geeignet scheinen.

Wichtig: Die Übersicht dient lediglich der Erstinformation. Die Umsetzung einer Anlage mit Nutzung oberflächennaher Geothermie bedarf zwingend einer detaillierten Einzelfallprüfung.

Neben der hydrologischen Eignung und den bohrrechtlichen Rahmenbedingungen sind 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.

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 (Sektorenkopplung). Der weitere Ausbau von Wärmepumpensystemen könnte z.B. über Informationskampagnen forciert werden.



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

Abbildung 20: Oberflächennahe Geothermie – Standorteignung [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

4.5.7 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, jedoch wurde für das Ausarbeiten des Entwicklungsszenarios davon ausgegangen, dass sich die klassischen, fossil betriebenen KWK-Anlagen langfristig auf regenerative Basis umstellen bzw. ersetzt werden (z.B. durch Wasserstoff). Die Menge an bisherigem, konventionell erzeugtem KWK-Strom würde sich damit im Vergleich zum Ist-Zustand also verringern. Die als KWK-Anlage eingestufte Müllverbrennungsanlage in Schwandorf hingegen wird als weiter bestehend in das Szenario überführt.

4.5.8 Abwärme

Abwärme im Sinne des hier betrachteten energetischen Potenzials schließt explizit nicht die bereits zuvor betrachtete Wärmekomponente aus Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen ein. Sie bezieht sich hier insbesondere auf Abwärme aus industriellen Prozessen. Ein klassisches Beispiel für häufig ungenutzte Abwärme-Potenziale liegt zum Beispiel im Bereich der Druckluftbereitstellung oder im Zusammenhang mit der Bereitstellung und Nutzung von Prozessdampf. Über Wärmetauscher können ansonsten über entsprechende Kühler abgeführte Wärmemengen abgegriffen und diese zum Beispiel der Gebäudeheizung oder wiederum anderen industriellen Prozessen zugeführt werden.

In der Praxis stellen vor allem die häufig niedrigen Temperaturniveaus und die jährliche Nutzungsdauer eine Hürde dar. Zudem wird vielerorts in Unternehmen mit entsprechendem Abwärmepotenzial, dieses insbesondere in den Wintermonaten bereits zur Wärmeversorgung des Unternehmens selbst eingesetzt. So würden die Potenziale für mögliche weitere, externe Abnehmer zum Großteil lediglich in den warmen Monaten mit ohnehin allgemein wenig Heizwärmebedarf zur Verfügung stehen. Dennoch kann das „Abfallprodukt“ Abwärme vor allem in sinnvoller Kombination mit weiteren Wärmeerzeugern einen wertvollen Beitrag zum Energiesystem leisten.

Im Rahmen des Energienutzungsplans können Abwärmepotenziale vor allem auf Basis von Rückläufern aus der durchgeführten Befragung großer Industriebetriebe mittels eines Fragebogens identifiziert

werden. Von den 21 Rückläufern wurde von 10 ein Abwärmepotenzial angegeben. Sämtliche Fragebögen und somit auch die Informationen zum Abwärmepotenzial wurden in den durchgeführten GIS-Betrachtungen auch digital mit verortet.

Die Auswertungen zeigen, dass sich die Abwärmepotenziale Temperaturniveaus zwischen 50 und 170 Grad (Luft) bzw. 35 bis 80 Grad (Wasser) befinden. Somit steht bei einigen Unternehmen ein Abwärmepotenzial auf einem direkt für Heizzwecke nutzbaren Temperaturniveau zur Verfügung. Zwar sind die Zeiträume, über welche diese Abwärme zur Verfügung steht, häufig nicht allzu lang (2.500 bis 3.000 Stunden), dennoch kann dies als Anlass genommen werden die Nutzung im Einzelfall näher zu prüfen. Im Rahmen einer Detailbetrachtung kann diese Quelle mit potenziellen Abnehmern in Einklang gebracht und gegebenenfalls mit weiteren Heizwärme-Aggregaten ergänzt werden.

Förderprogramme von Bund und Ländern, wie beispielsweise die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze BEW, greifen den Faktor Abwärmenutzung inzwischen ganz explizit als Positivum für die Förderung von Wärmeverbundmaßnahmen mit auf.

Neben der rein technischen Komponente besteht im Bereich der sinnvollen Nutzung industrieller Abwärme häufig das Problem, dass die Unternehmen für das langfristige Liefern von Wärme selten langfristige Garantien übernehmen können und im Gegenzug, vor allem wenn es sich nicht um private oder kommunale Abnehmer handelt, auch auf der Abnehmerseite kaum langfristige Zusagen für die Abnahme der Wärme gegeben werden können. Dies stellt den Aufbau einer mittel- bis langfristigen Kooperation aus zwei oder mehr Parteien häufig auf ein wirtschaftlich risikoreicheres Fundament.

Auch wenn die im Rahmen des Energienutzungsplans identifizierten Potenziale nicht quantifiziert ausgewiesen werden können, so können sie zum Anlass genommen werden jeweils individuelle Einzelfallprüfungen für etwaige sinnvolle Nutzung des „Abfallprodukts“ Abwärme anzustellen.

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 2019. 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 und ein vergleichender Blick auf die Zusammensetzung von Bedarf und Erzeugung im Ziel-Jahr 2040 geworfen.

5.1 Bedarf

Abbildung 21 zeigt die Entwicklung des Energiebedarfs ausgehend vom Ist-Zustand im Jahr 2019, über das Jahr 2030 bis hin zum gesetzten zeitlichen Horizont 2040. 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.

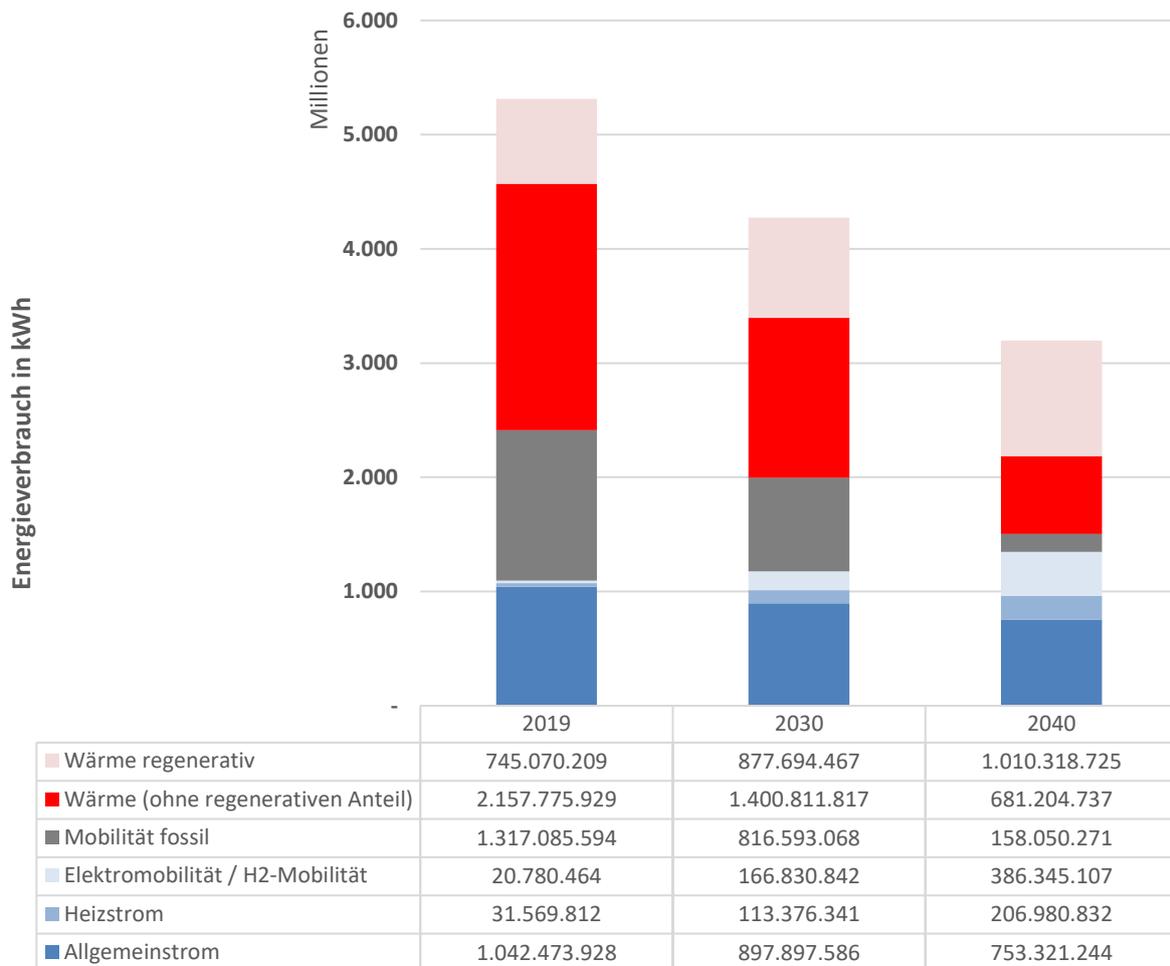


Abbildung 21: Energieszenario 2019 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und der Transformationsprozesse

So zeigt sich auf der Bedarfs-Seite die Auswirkung der in Kapitel 4.2 und 4.3 geschilderten Einspar- und Transformationsprozesse. Das konsequente Umsetzen birgt deutliche Reduktionspotenziale über alle Sektoren hinweg. Insgesamt beträgt die Einsparung rund 2.118.535 MWh bzw. 40 %. Ganz wesentlich ist dies auf die Transformation im Sektor Mobilität mit der Entwicklung hin zu effizienteren, elektrifizierten Antriebstechnologien zurückzuführen. Zudem sind die Einsparungen durch Sanierung und Effizienzsteigerung im thermischen Bereich und im Bereich des Allgemeinstrom-Bedarfs ersichtlich. Im Wärme-Segment ist auch eine merkbliche Transformation vom thermischen Energiemix aus vor allem

Gas und Heizöl, hin zu elektrischen Wärmeerzeugern zu erkennen. Durch die verstärkte Elektrifizierung der Sektoren steigt der Strombedarf um rund 251.823 MWh bzw. 23 %. Dieser Bedarf ist beim Ausbau erneuerbarer Stromquellen speziell zu berücksichtigen, da er ohne Umwandelungsschritte direkt aus Erneuerbaren bereitgestellt werden kann.

5.2 Erzeugung

In Abstimmung mit den Akteuren vor Ort wird ein Szenario gezeichnet, welches bis zum Zieljahr 2040 zu einer tatsächlichen bilanziellen Eigenversorgung des Landkreises aus regionalen, erneuerbaren Energien führen kann. Aus den in Kapitel 4.5 ermittelten technischen Potenzialen im Bereich erneuerbarer Energien, die im Landkreis vorzufinden sind bzw. errechnet wurden, wird für das Skizzieren des möglichen Szenarios im Jahr 2040 eine Teilmenge als praktikabel erschließbar angenommen.

Eine vollständige Erschließung 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 6 % als zu erschließen angesetzt. Dies entspräche einem Anteil an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche im Landkreis von 1,5 % 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 konnten, wie in Kapitel 4.5.4 beschrieben, auch mit konservativer Herangehensweise Flächenpotenziale ermittelt werden, die Standortmöglichkeiten für ca. 82 Windkraftanlagen bieten. Hiervon wiederum werden im ersten Schritt 30 Stück als mittelfristig zu erschließen in den Ausbaupfad mit integriert.

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die getroffenen Annahmen für das Szenario. Sie zeigt zu welchem Grad die in den Kapiteln zuvor geschilderten, technischen Ausbaupotenziale einbezogen wurden.

Tabelle 4: Die den Ausbaupfaden zu Grunde liegenden Erschließungsgrade der technischen Potenziale

Zusammenfassung der Annahmen	Technisches Potenzial	Szenario
Photovoltaik Aufdach	1.475 MW _p	60 %
Photovoltaik Freifläche	14.150 ha	6 %
Windkraft	82 Stück	30 Stück
Biomasse-KWK → Strom → Wärme	132.868 MWh 94.406 MWh	125 %
Biomasse (holzartig)	616.116 MWh	50 %
Wasserkraft	29.258 MWh	100 %
KWK (Ist-Zustand, inkl. ZMS)	178.181 MWh	- 6 %

Der auf Basis der geschilderten Annahmen entstehende Entwicklungspfad wird nachfolgend grafisch nachvollziehbar aufgeführt. Er ist bewusst skaliert wie die Entwicklung des Bedarfs in Abbildung 21, um die Größenverhältnisse zwischen Bedarf und Erzeugung besser in Relation setzen zu können.

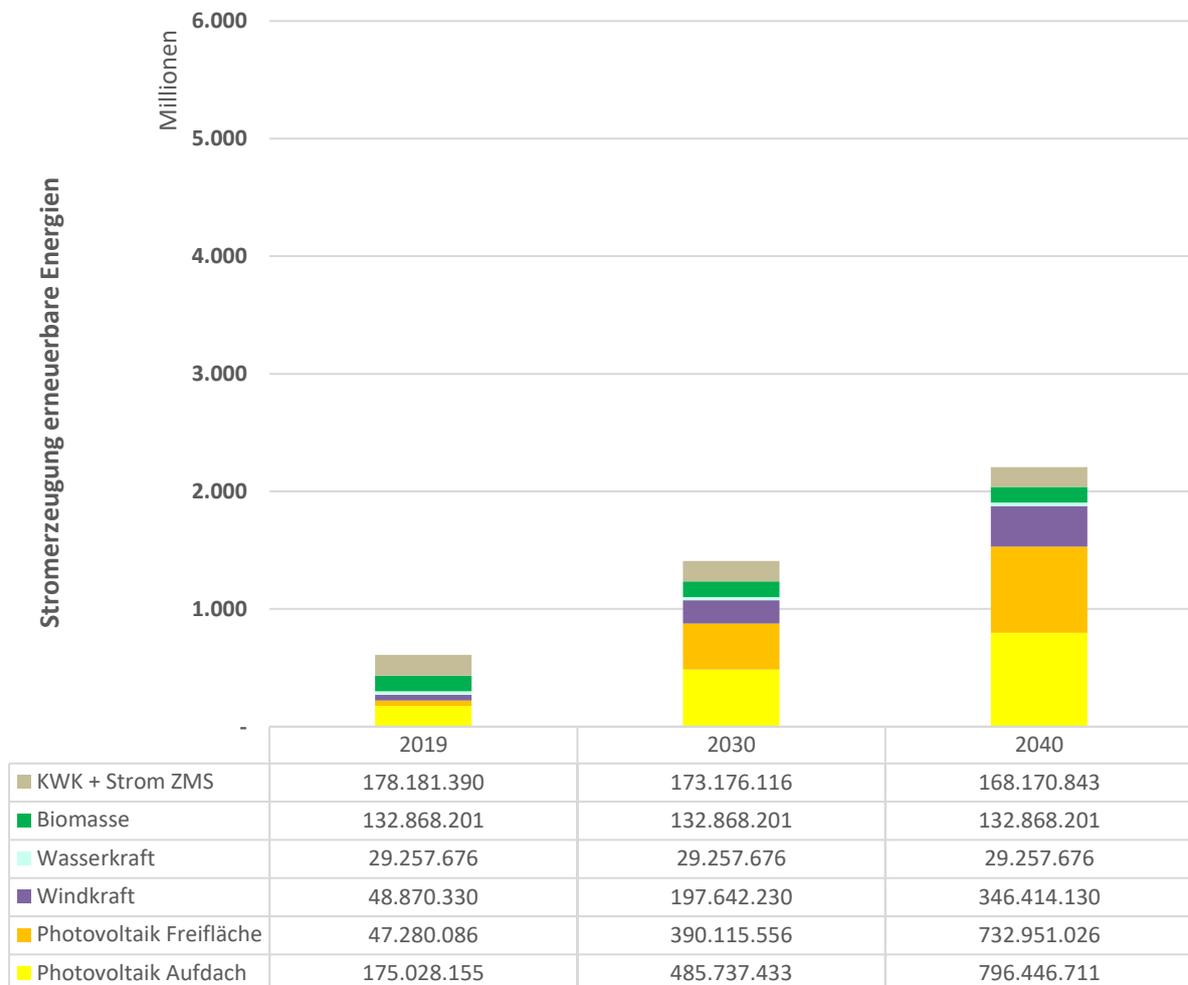


Abbildung 22: Energieszenario 2019 bis 2040 – Entwicklungspfad beim Erschließen der Potenziale erneuerbarer Energien

In Abstimmung mit der Steuerungsrunde wurde alternativ dazu ein weiteres Szenario gezeichnet, welches die zu erschließenden Teilmengen von der Freiflächen-Photovoltaik hin zur Windenergie verschiebt. So werden statt 6 % „nur“ 4 % des Freiflächen-Potenzials erschlossen (ca. 1 % der landwirtschaftlichen Fläche im Landkreis) und von den besagten 82 Windkraft-Standorten 50 Stück, d.h. in etwa zwei Drittel, erschlossen. Alle weiteren Annahmen bleiben in diesem alternativen Ausbaupfad, wie zuvor schon geschildert und festgelegt, bestehen.

5.3 Szenario

Auf Basis der in den Kapiteln 5.1 und 5.2 zusammengefassten Annahmen zur Erschließung der in den Kapiteln 4.2 bis 4.5 beschriebenen, technisch vorhandenen Potenziale, wurden bereits die Entwicklungspfade von 2019 über das Jahr 2030 bis hin zum Zieljahr 2040 dargestellt. Wird daraus das Zieljahr 2040 herausgegriffen und der prognostizierte Bedarf der entsprechend generierbaren, regenerativen Strommenge gegenübergestellt, so zeigt sich die in Abbildung 23 dargestellte Konstellation.

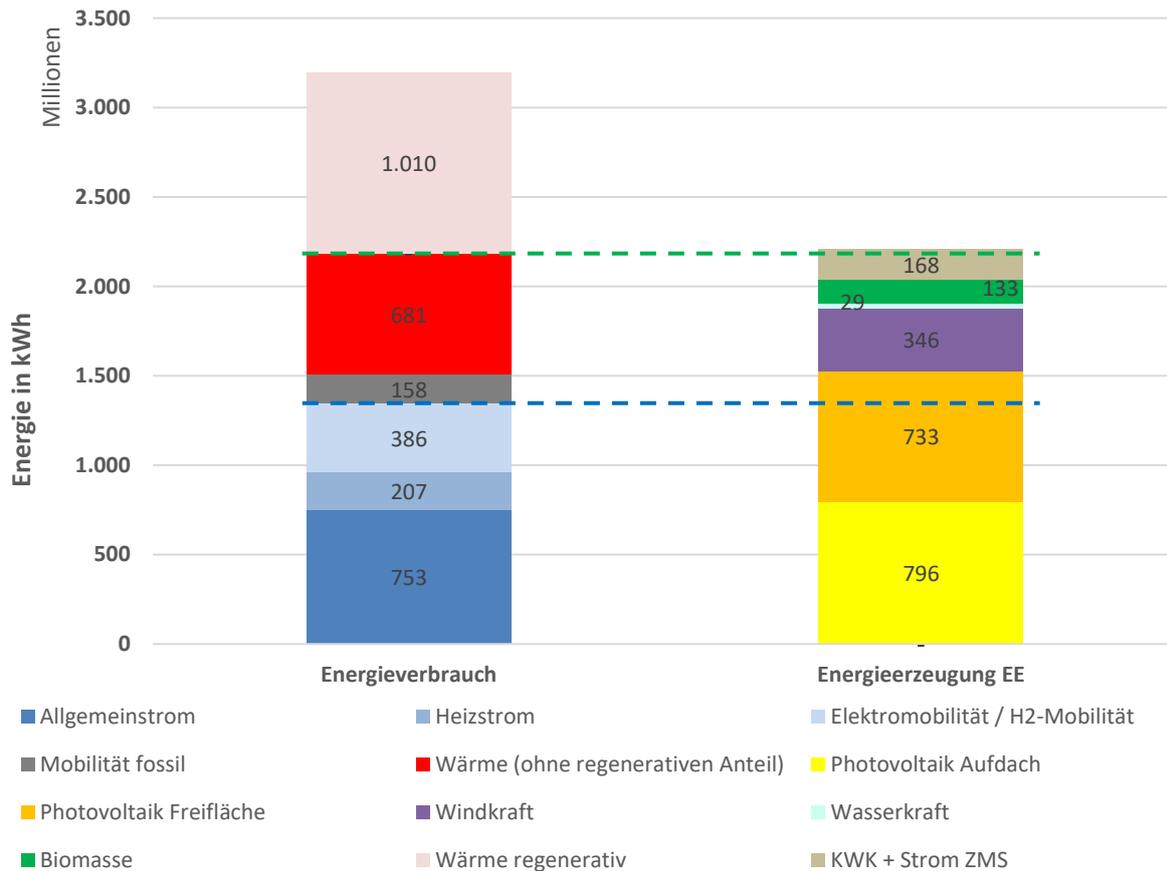


Abbildung 23: Energieszenario im Jahr 2040 – Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energien

Die Bedarfsseite weist hier bereits eine erneuerbare Komponente in Höhe von rund 1.010.319 MWh auf, die z.B. aus Biomasse oder Solarthermie bereitgestellt wird. Der Strombedarf für die verschiedenen Anwendungszwecke Allgemein, Heizung und Mobilität beläuft sich nach den prognostizierten Einspar- und Transformationsprozessen auf rund 1.346.647 MWh. Es verbleibt ein Rest an Wärmeenergie und Energie für Mobilitätsw Zwecke, der in diesem Szenario nicht unmittelbar elektrifizierbar wäre (insgesamt rund 839.255 MWh). Diese, nicht direkt über Strom abzubildende Komponente, müsste über Zwischenstufen auf Basis regenerativen Stroms gedeckt werden, wie z.B. Wasserstoff (oder daraus abgeleiteten Verbindungen).

Das aufgestellte Ausbauszenario zeigt, dass die resultierende regenerative Stromerzeugung, mit rund 2.206.108 MWh, den Energiebedarf bilanziell zu gut 100 % aus nachhaltigen Quellen innerhalb des Landkreises abdecken könnte.

Dabei sind jeweils rein die jährlichen Endenergiemengen beleuchtet. Etwaige Wandlungsverluste, die auftreten könnten, um fossile Brenn- oder Treibstoffe mittels Strom zu substituieren (zum Beispiel über Wasserstoff), sind in dieser Betrachtung nicht abzubilden.

In Summe ist die Überführung des regenerativen Stroms zur Deckung der Komponenten Wärme und Mobilität nicht zwingend einhergehend mit den Netto-Verlusten. Aktuell sind in der Betrachtung, beispielsweise bei der Wandlung des Wärmesektors, Wärmepumpen bisher nur auf der Ebene der privaten Haushalte abzubilden. Tendenziell finden diese aber inzwischen auch im Gewerbe und der Industrie (Hochtemperatur- oder Großwärmepumpen) Anwendung. Dabei herrscht durch das Nutzen von Umwelt- oder Erdwärme wieder eine positive Hebelwirkung gegenüber der eingesetzten Kilowattstunde Strom, was die Verluste in Summe wieder mindern würde.

Nachfolgend ist im Vergleich auch das Ziel des alternativen Ausbaupfades dargestellt, welcher in Summe zum quasi identischen Endergebnis führen würde, jedoch den Schwerpunkt tendenziell auf die Windenergie, statt auf die Freiflächen-Photovoltaik legt.

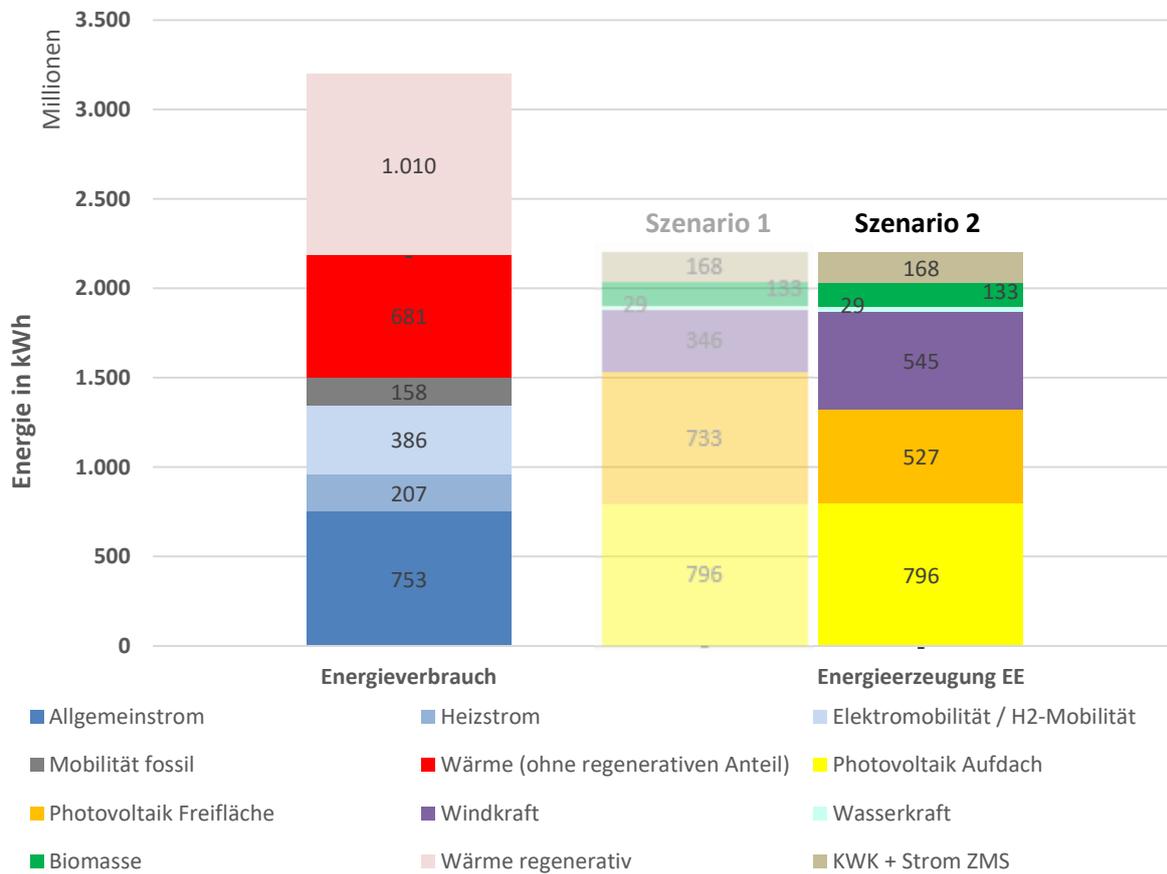


Abbildung 24: Energieszenario im Jahr 2040 – Resultat des alternativen Szenarios

Wichtige ergänzende Hinweise

Es handelt sich beim Aufstellen des Zielszenarios um eine bilanzielle Betrachtung. Tatsächlich ist der zeitliche Verlauf der generierten Energie nie zu einhundert Prozent deckungsgleich mit dem Verlauf des Bedarfs. Eine wirkliche Autarkie ist somit nicht möglich und 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 dazu dienen, Überkapazitäten zu puffern und bei Bedarf freizugeben (Beispiel: Pumpspeicher Trausnitz). Darüber hinaus wäre ein Speichern von Strom über Zwischenstufen wie über das Medium Wasserstoff denkbar.

Weiterhin spricht für eine verstärkt dezentrale, regionale Erzeugungsstruktur mit erneuerbaren Energien-Anlagen, dass neben den offensichtlichen CO₂-Reduktions- und Klimaschutzpotenzialen, die mit dem generellen Ausbau der Erneuerbaren gehoben werden, weitere wirtschaftlich und gesellschaftspolitisch positive Effekte auftreten.

So kann eine dezentrale Erzeugerstruktur, speziell in Verbindung mit Eigenverbrauch und Sektorenkopplung, helfen das vorhandene Übertragungsnetz zu schonen. 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 Maßnahmenkatalog

Ein 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 wurden individuell mit jeder Kommune, während der Regionalkonferenzen, ausgearbeitet und übermittelt. Sie können zum Teil personenbezogene Daten und Informationen enthalten und sind daher zusammen mit den Gemeindesteckbriefen im nichtöffentlichen Teil des Abschlussberichts (Anhang) enthalten.

7 Detailprüfung eines Pilotprojekts aus dem Maßnahmenkatalog

Auf Basis der für die einzelnen Kommunen ausgearbeiteten Maßnahmenkataloge, wurde im Rahmen des Energienutzungsplans ein ausgewähltes Pilotprojekt detailliert untersucht. Vielerorts besteht seit einiger Zeit ein stetig wachsendes Interesse an dem Themenfeld Parkplatz-Photovoltaik. Insbesondere im Zuge von Diskussionen rund um die Freiflächen-Photovoltaik, werden diese Flächen als interessante Alternative oder Ergänzung bei der solaren Energiegewinnung befunden.

Um das Thema, das Potenzial und die praktische Umsetzung zu demonstrieren, wurde in Abstimmung mit den Akteuren vor Ort festgelegt, exemplarisch, anhand der Stadt Schwandorf, eine GIS-basierte Analyse bestehender, örtlicher Parkplatzflächen durchzuführen und deren solares Potenzial qualitativ und quantitativ aufzuzeigen. Die Flächen werden automatisiert identifiziert, vermessen und nach verschiedenen Kriterien (Ausrichtung, Größe, Beschaffenheit) klassifiziert. Ein erstes in die Praxis umgesetztes Beispiel gibt es im Landkreis heute bereits. Das Hotel Wolfringmühle in Fensterbach betreibt seit einiger Zeit bereits eine solche Anlage. Sie wird im Zuge dessen ebenfalls näher vorgestellt, um die Umsetzung in die Praxis zu illustrieren.

Das beleuchtete Detailprojekt repräsentiert die konkreten, aus dem Energienutzungsplan hervorgehenden Einzelmaßnahmen. Die Erkenntnisse können für zahlreiche weitere Kommunen im Landkreis als Musterbeispiel dienen.

7.1 Grundlagen Parkplatz-Photovoltaik

7.1.1 Hintergründe

Als Parkplatz-Photovoltaik wird gemeinhin die Installation von Photovoltaikmodulen als oder in Verbindung mit Stellplatzüberdachung für Fahrzeuge bezeichnet. Parkplätze bieten mit ihrer weitläufigen und ebenen Fläche ein großes Potential für die Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen. In den meisten Fällen werden sie aktuell aber nur für ihren ursprünglichen Zweck, das Abstellen von Fahrzeugen, genutzt.

Wie zuvor erwähnt, stieg das Interesse an der Nutzung dieser Flächen für die solare Energiegewinnung zuletzt stetig. Die Vorteile der Parkplatz-Photovoltaik sind vielfältig, während wirkliche Nachteile, abgesehen von den im Vergleich höheren Investitionskosten, kaum vorhanden sind. Beides ist nachfolgend ausführlicher beleuchtet.

Die Nutzung dieser bereits versiegelten, natürlichen Flächen stellt eine Alternative oder Ergänzung zur Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen dar, die vielerorts (zumindest in größeren Maßstäben) tendenziell kontrovers diskutiert wird. Die landwirtschaftliche Flächenkulisse kann somit hinsichtlich ihrer Erfordernis für die Energiegewinnung entlastet werden.

Ein weiterer häufiger Anwendungsfall ergibt sich im Zusammenhang mit Gewerbe und Industrie. Insbesondere stromintensive Unternehmen sind in Folge steigender Energiepreise auf der Suche nach Möglichkeiten zur on-site Energiegewinnung. Vielerorts lassen die Dachflächen der Unternehmen – beispielsweise aus Gründen der Statik oder der Besitzverhältnisse – die Nutzung von Dachflächen nur bedingt oder gar nicht zu. Teilweise sind die Dachflächen von Industrieunternehmen auch einfach schon erschlossen, die Unternehmen aber dennoch noch sehr vom externen Energiebezug abhängig. Auch hier bieten vorhandene, unternehmenseigene Parkplatzflächen eine Möglichkeit zur Stromerzeugung und direkten Speisung des Strombedarfs des jeweiligen Unternehmens.

Mit dem allgemein schnell wachsenden Anteil an Elektromobilität steigt parallel dazu entsprechend auch der Bedarf an Strom und vor allem an Ladeinfrastruktur. So sind Parkplatzflächen als klassische Abstellmöglichkeiten (Arbeitsplatz, Einkaufsmöglichkeiten, ÖPNV-Knotenpunkte) immer mehr an den Bedarf von Ladestrom geknüpft. Auch dieser Faktor sorgt für eine stetig wachsende Bedeutung der Parkplatz-Photovoltaik.

Stromnetzbetreiber stehen dieser Kombination aus Energieerzeugungsanlagen und direktem Verbrauch vor Ort meist positiv gegenüber. Die Kopplung der Sektoren Strom und Mobilität kann in diesem Fall die absolute, über das Netz zu transportierende Strommenge – im Vergleich zur Volleinspeisung des Stroms – tendenziell verringern und somit auch die Belastung des Stromnetzes etwas abfedern.

Die zuvor genannten Pro-Argumente für die Technologie sind insbesondere aus Betreibersicht relevant, aber auch die Fahrzeugnutzer profitieren von dieser Konstellation. So ist eine Parkplatz-Photovoltaik-Maßnahme meist auch geknüpft an die Installation von Ladepunkten (relevant für E-Fahrzeuge) und sorgen für eine weitestgehende Entkopplung von äußeren Witterungseinflüssen (wie Hitze, Regen, Wind, Sonne, Hagel, Schnee, etc.), was einen deutlichen Komfort- und Sicherheitsgewinn darstellt.

Schlussendlich ergeben sich darüber hinaus im ersten Moment möglicherweise weniger naheliegende Benefits, wie z.B. den möglichen Entfall eines Winterdienstes, der Erhöhung der Lebensdauer des Parkplatzbelags oder auch der gezielten Regenwasserführung über eigene Entwässerungssysteme für die mögliche Weiternutzung (Bewässerung etc.).

Wie zuvor bereits erwähnt sind, im Gegenzug zu den zuvor genannten Vorteilen der Technologie und des Bauprinzips, die Nachteile eher gering. In erster Linie sind Parkplatz-Photovoltaik-Anlagen vor allem merklich teurer als klassische Freiflächen- oder gar Aufdach-Photovoltaik-Anlagen. Einerseits sind die Materialkosten durch die umfangreichere und teils massivere Unterkonstruktion höher, zum anderen sind die baulichen Maßnahmen (insbesondere bei der nachträglichen Installation des Parkplatz-PV-Systems) deutlich aufwändiger. In der Praxis scheiterten Projekte beispielsweise daran, dass die Parkplatzflächen sich in bereits weitläufig versiegelten Arealen befanden, die Leitungsführung zum nächstgelegenen Einspeisepunkt mit langer Leitungsführung über Asphaltflächen (mit jeweils Öffnen und Wiederherstellen der Asphaltdecke) einher gegangen wären und dies letztlich wirtschaftlich keine sinnvolle Lösung zuließ.

Pauschale Aussagen über die technische und vor allem wirtschaftliche Eignung einer Parkplatzfläche für Photovoltaik sind aufgrund der Vielfältigkeit also nur im Einzelfall abschließend möglich. Projekte müssen individuell untersucht werden. Auch in Abstimmung mit dem Netzbetreiber, welcher i.d.R. den geeigneten Einspeisepunkt berechnen muss.

Das Potenzial wurde politisch ebenfalls erkannt. So ist in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und weiteren Bundesländern bereits gesetzlich vorgeschrieben ab 35 bzw. 50 Stellplätzen, 60 % der zur Solarnutzung geeigneten Stellplätze mit PV-Modulen zu belegen. In Bayern liegt aktuell noch keine derartige Verpflichtung vor.

7.1.2 Ausführung

Die Systeme und Bauformen für Parkplatz-Photovoltaik sind vielfältig. Nachfolgend wird eine grobe Übersicht gängiger Ausführungen und wesentlicher, praxisrelevanter Eigenheiten geschildert, die es zu beachten gilt bzw. zwischen welchen Anlagenbetreiber auswählen müssen.

Wesentliche Unterschiede in den Systemen liegen im ersten Schritt schon in der Fragestellung, ob die Fläche flächendeckend überbaut werden soll oder nur einzelne Parkplatz-Reihen. Daraus hervorgehend steht eine Vielzahl von Unter- (Tragwerk) und Überkonstruktionen zur Verfügung (siehe Abbildung 25). In der Praxis kann die Höhe zwischen 2,5 und 3 Metern für PKWs oder aber 4 bis 5 Meter für LKWs betragen. Die Fahrwege bleiben vielerorts offen, um die Durchfahrt von Lieferfahrzeugen zu ermöglichen. In den meisten Fällen erfordert die Unterkonstruktion ein entsprechendes Fundament.

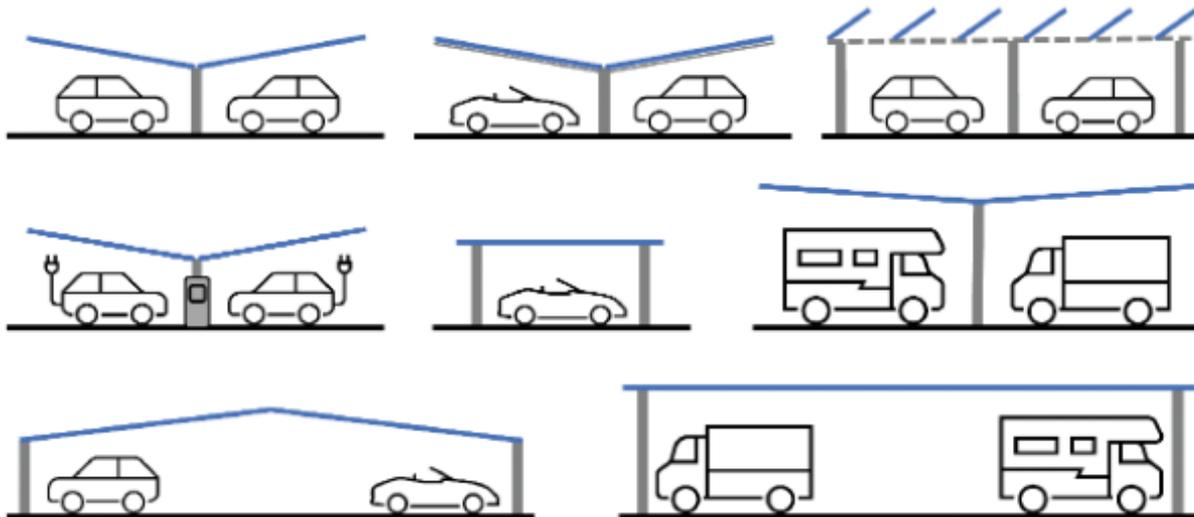


Abbildung 25: Verschiedene Konstruktionsmöglichkeiten für Parkplatzüberdachung (Bildquelle: www.solarcluster-bw.de)

In Abbildung 25 ist zudem zu erkennen, dass die Dachkonstruktion sowohl durch Pfeiler an allen vier Seiten als auch lediglich durch Stützen an der Stirnseite des Parkplatzes befestigt werden kann. Die Module können flach oder geneigt montiert werden. Sind die Module nicht auf einer durchgehenden Dachhaut befestigt, ist bei einer gegen Süden gerichteten Aufständigung der Module zwar der solare Ertrag höher, allerdings kein vollständiger Niederschlagsschutz mehr gegeben.

Abhängig von der gewählten Unterkonstruktion stehen auch verschiedene Möglichkeiten der Überdachung zur Verfügung. So können die Module selbst die Dachhaut bilden oder eine klassische Eindedung (z.B. Trapezblech) verwendet werden. Sollen die Module selbst die Dachhaut bilden, so steigen die Anforderungen deutlich an. Meist werden semitransparente Glas-Glas Module verwendet, die zwischen den einzelnen Zellen Tageslicht hindurch lassen (siehe Abbildung 25). Diese erfordern aber eine entsprechende Zulassung als Überkopfverglasung. Der Abstand zwischen diesen, auf beiden Seiten mit Glasscheiben abgedeckten, Zellen ist frei wählbar, somit kann der Tageslichteinfall und der Beschattungsgrad, den eigenen Zielvorstellungen in gewissem Umfang angepasst, festgelegt werden. Herkömmliche PV-Module besitzen auf der Rückseite eine Kunststofffolie. Sie sind zwar kostengünstiger, aber meistens nicht als Überkopfverglasung zugelassen. Sie müssten deshalb auf einer Unterkonstruktion (beispielsweise einem Blechdach) installiert werden.

Darüber hinaus ist noch zu beachten: Es handelt sich bei einer derartigen Maßnahme um eine bauliche Anlage für die i.d.R. eine Baugenehmigung erforderlich ist.



Abbildung 26: Parkplatzüberdachung mit Glas-Glas PV-Modulen (Bildquelle: www.pv-magazine.de)

7.1.3 Nutzungsmöglichkeiten für den erzeugten Strom

Für den aus der Parkplatz-Photovoltaikanlage generierten Strom bestehen grundsätzlich dieselben Nutzungsmöglichkeiten, wie auch beim Aufdach- oder Freiflächen-Photovoltaik Strom. Er kann entweder vollständig in das Stromnetz eingespeist und nach dem EEG oder an der Strombörse vermarktet werden, oder bilanziell-kaufmännisch im räumlichen Zusammenhang direkt verbraucht werden. Nicht vor Ort direkt verbrauchte Mengen können als sog. Überschussstrom ebenfalls in das Stromnetz eingespeist werden. Möglichkeiten zum Eigenverbrauch sind ebenfalls die bekannten, klassischen Anwendungsfälle. So kann der Strom entweder zum Betrieb von elektrischen Geräten (insbesondere im Zusammenhang mit Industriebetrieben ein Faktor) oder aber auch zur Versorgung von Elektrofahrzeugen oder gar zur Wärmebereitung eingesetzt werden (Sektorenkopplung).

Abdeckung des eigenen Strombedarfs

Der langjährige klassische Anwendungsfall liegt in der Nutzung des Solarstroms für den Betrieb klassischer Stromverbraucher in Gewerbe- oder Industriebetrieben, öffentlicher Einrichtungen oder dem privaten Haushalt. Im Zusammenhang mit der hier behandelten Parkplatz-Photovoltaik liegen die Anwendungen vor allem im gewerblichen bzw. industriellen, zum Teil auch im kommunalen Anwenderkreis (z.B. Schwimmbäder).

Nutzung für die Elektromobilität

Im Zuge des ebenfalls stetig steigenden Anteils an Elektromobilität im deutschen Verkehrssektor, steigen parallel auch der Bedarf von (regenerativem) Strom und an Ladeinfrastruktur deutlich an. Die Verknüpfung von Parkplatz-Photovoltaikanlagen mit dem Anwenderfall E-Mobilität ist dabei schon aufgrund des räumlichen Zusammenhangs naheliegend.

So können Ladepunkte (z.B. Wallboxen) direkt am Tragwerk der Überdachung angebracht werden und auf kurzem Wege in die elektrische Infrastruktur der Parkplatz-Photovoltaikanlage mit eingebunden werden. Aus technischer Sicht ist dies zumeist unkompliziert durchführbar, im Betrieb ergeben sich für den Anlagenbetreiber hingegen gewisse energiewirtschaftliche und rechtliche Hürden. So ist es in der Regel erforderlich, für die Stromlieferung an Dritte die genutzten Mengen konform zu erfassen (erfordert die entsprechende Messinfrastruktur) und Abrechnungs- und Meldepflichten gegenüber den Verteil- oder Übertragungsnetzbetreibern nachzukommen. In der Praxis werden für den Betrieb der Ladepunkte daher häufig Dienstleister mit einbezogen, die das Bindeglied zwischen Anlagenbetreiber und Stromnutzer darstellen.



Abbildung 27: An einen Stützpfeiler montierte Ladesäule (Bildquelle: www.hoermann-info.de)

Wärmestrom

Nicht nur bei Wohngebäuden oder öffentlichen Einrichtungen soll die Elektrifizierung des Wärmesektors (speziell Wärmepumpen) beschleunigt voranschreiten, auch im gewerblichen und industriellen Bereich gehen die Entwicklungen beschleunigt in diese Richtung. So kann mittels Großwärmepumpen auch für Industriebetriebe oder ganze Quartiere Raumwärme bzw. mittels sogenannter Hochtemperatur-Wärmepumpen auch Prozessenergie bereitgestellt werden.

Ergänzend zu den fortschreitenden Transformationsprozessen in der Wärmeversorgung, vom klassischen fossilen Brennstoff hin zu Aggregaten auf Basis von erneuerbarem Strom, sind bereits im Ist-Zustand häufig strombasierte thermische Anwendungen vorhanden, beispielsweise für den Betrieb von raumlufttechnischen Anlagen zur Lüftung und Klimatisierung oder auch für die Erzeugung gewerblicher oder industrieller Prozesskälte.

Sollten Aufdach-Photovoltaik-Potenziale bereits erschöpft oder nicht gegeben sein, so kann über möglicherweise vorhandene Parkplatzflächen dezentraler Strom für die Unterstützung der Wärme- bzw. Kältebereitstellung generiert werden.

7.2 GIS-Analyse des möglichen Parkplatz-PV-Potenzials am Beispiel der Stadt Schwandorf

Ziel der Analyse ist das softwaregestützte, automatisierte und georeferenzierte Ermitteln potenziell für die Anwendung von Parkplatz-Photovoltaik geeigneter Parkplatzflächen, exemplarisch durchgeführt anhand einer Kommune des Landkreises. Hier konkret anhand der Stadt Schwandorf, als einwohnerstärkste Kommune. Die Analyse soll Demonstrationsobjekt für die praktische Anwendbarkeit der GIS-Analysen sein, deren Hintergrund darlegen und soll somit einerseits der Information interessierter kommunaler und industrieller Vertreter dienen und andererseits diese auch für die Thematik sensibilisieren.

7.2.1 Methodik

Die Identifikation der potenziell attraktiven Parkplatzflächen im Stadtgebiet stützt sich auf frei zugängliche Open-Source-Daten. Diese werden mit ebenso frei verfügbaren GIS-Programmen verarbeitet und aufbereitet, sodass eine Identifikation einzelner Parkplatz-Areale und eine automatische Auswertung möglich werden. Zwar führt die Nutzung von Open-Source-Daten zu einer leichten Unschärfe im Ver-

gleich zu kostenpflichtigen Vermessungsdaten, aber anderorts durchgeführte, stichprobenartige Vergleiche mit behördlichen Vermessungsdaten ergaben eine akzeptable Abweichung. Die im ersten Schritt identifizierten Flächen sind in Abbildung 28 dargestellt.

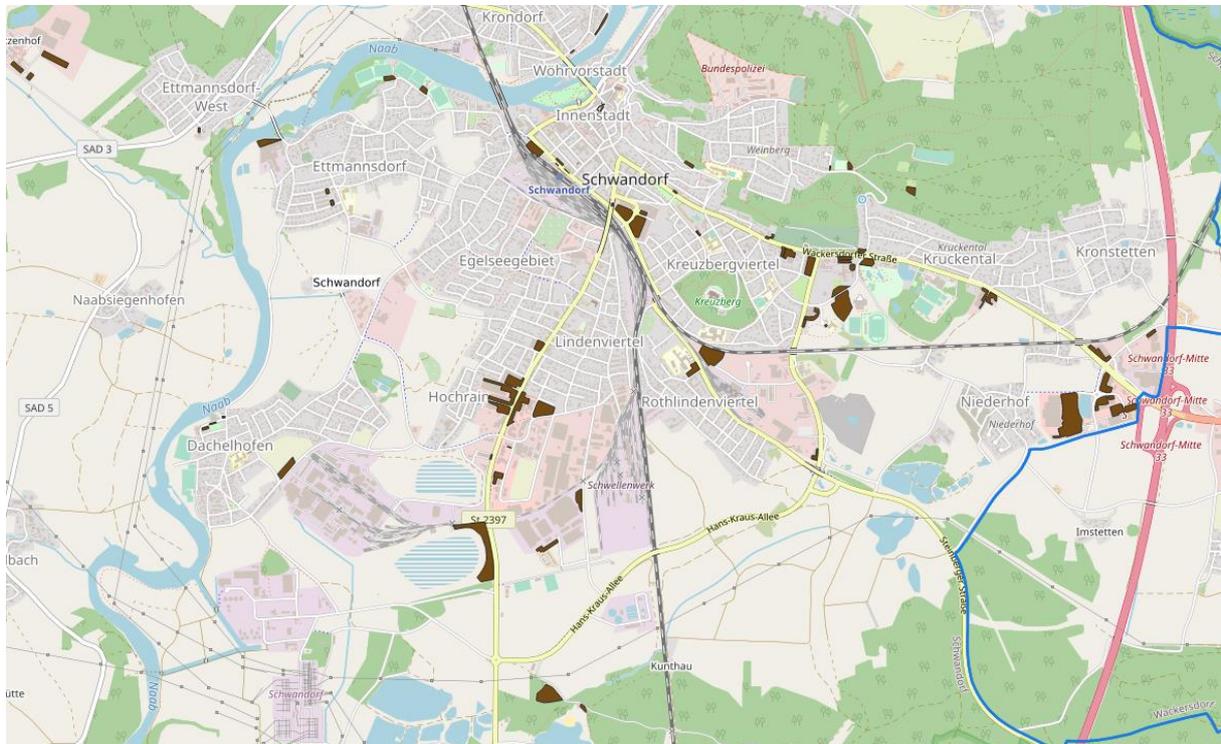


Abbildung 28: Erster Zwischenschritt der Analyse: Identifikation von Parkplatzflächen allgemein [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]

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.

So werden die identifizierten Flächen im zweiten Schritt noch nachgeschärft, indem beispielsweise die Flächen in Ensembleschutz-Gebieten und Tiefgaragen/Parkhäuser, die vom automatisierten Ansatz als Fläche identifiziert wurden, ausgeklammert werden.

Die letzten Erfahrungswerte zeigten, dass rund 1.200 m² Mindest-Fläche verfügbar sein sollten, damit eine Parkplatz-Photovoltaikanlage allein aufgrund der Einspeisevergütung wirtschaftlich arbeiten 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 auch nach der Vorgabe einer Mindest-Fläche von 1.200 m² analysiert und all diejenigen, die dieses Kriterium unterschreiten, aussortiert.

So verbleiben die in Abbildung 29 gekennzeichneten Parkplatzflächen als technisches Potenzial.

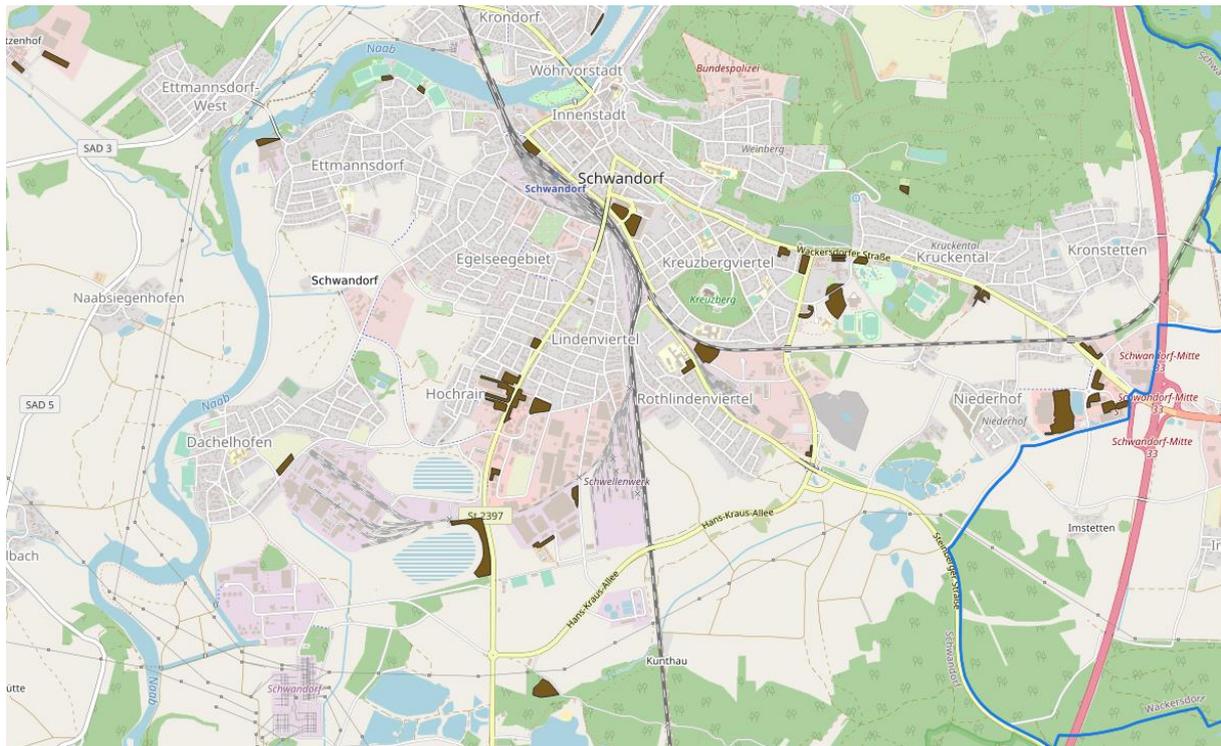


Abbildung 29: Identifizierte Parkplatzflächen (> 1.200 m²) zur tiefergehenden Untersuchung [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]

Die in Abbildung 30 dargestellte Verteilung zeigt, dass es wenige sehr große Parkplatzflächen im Stadtgebiet gibt und der Hauptteil sich eher kleinteilig und dezentral über das Stadtgebiet verteilt.

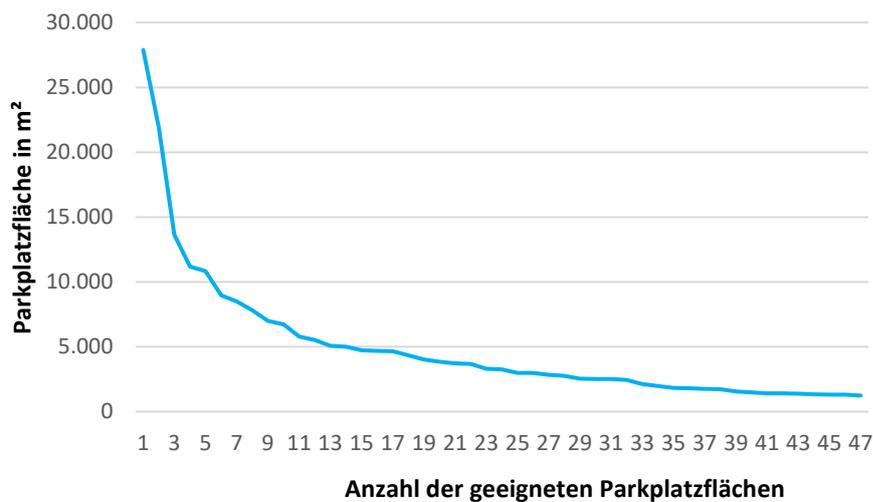


Abbildung 30: Größenverteilung der identifizierten Flächenkulisse

7.2.2 Ergebnisse der GIS-Analyse und Ergebnisdarstellung

Die zuvor geschilderte Methodik liefert die nach den beschriebenen Rahmenbedingungen und Parametern resultierenden, nutzbaren Flächen. Auf dieser Basis können einerseits tiefergehende qualitative Untersuchungen und Differenzierungen vorgenommen und andererseits quantitative Ableitungen (Ausdehnung der jeweils identifizierten Fläche, elektrische Leistung und Stromertrag) angestellt werden.

Qualitative Analyse

Die mögliche Verortung identifizierter Flächen in Industrie- oder Gewerbegebieten (und auch in der Nähe von Einzelhandelsplätzen) kann für die Kommune insofern von Relevanz sein, als dass die Akteure bei der Umsetzung eines solchen Projekts besser identifiziert und zugeordnet werden können. So sind Flächen innerhalb dieser Gebietskulisse eher von den anliegenden bzw. betreffenden Unternehmen umzusetzen, während Flächen außerhalb dieser Gebietskulisse (i.d.R. öffentliche Parkplatzflächen) eher in den Zuständigkeitsbereich der Kommune fallen.

Gleichzeitig ermöglicht es die Analyse einzelne Flächen gemäß der Größe der Einzelflächen zu staffeln und vor allem auch hinsichtlich ihres Formfaktors zu klassifizieren (vgl. Abbildung 31). 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).

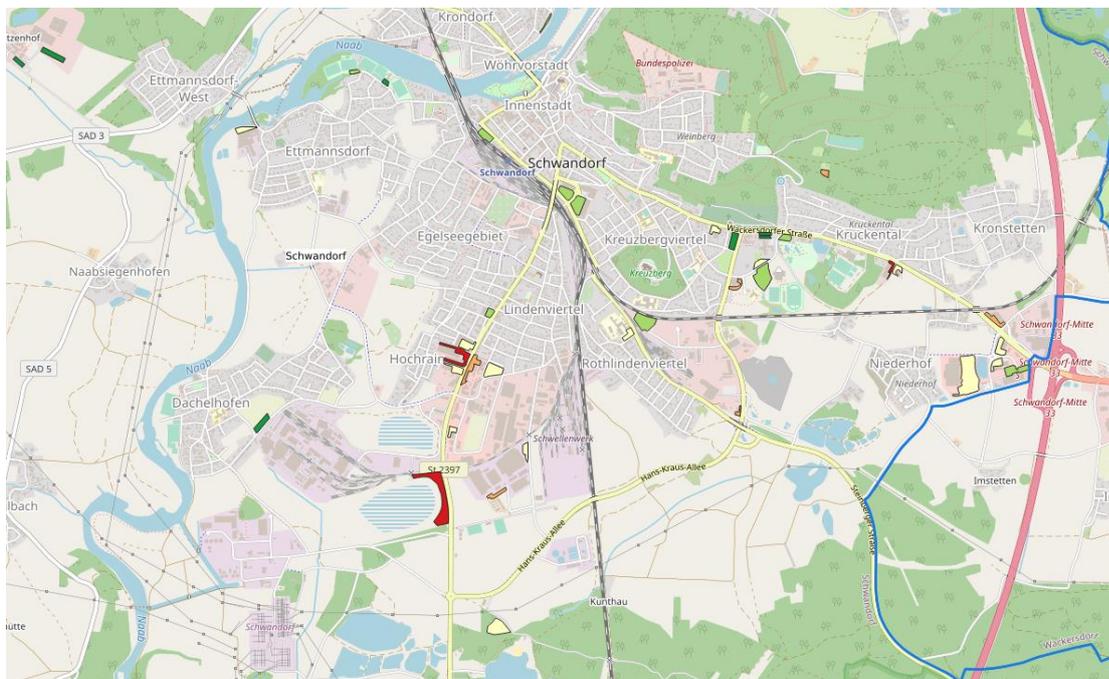


Abbildung 31: Nach Formfaktor eingestufte identifizierte Parkplatzflächen [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]

Die identifizierten Flächen können im Zuge der tiefergehenden Analyse auch nach der „Qualität“ der Ausrichtung der Hauptkanten abgestuft werden (Abbildung 32). Auch hier ist die Güte gestaffelt dargestellt von tendenziell besser ausgerichtet (grün) bis hin zu tendenziell schlechter ausgerichtet (rot).

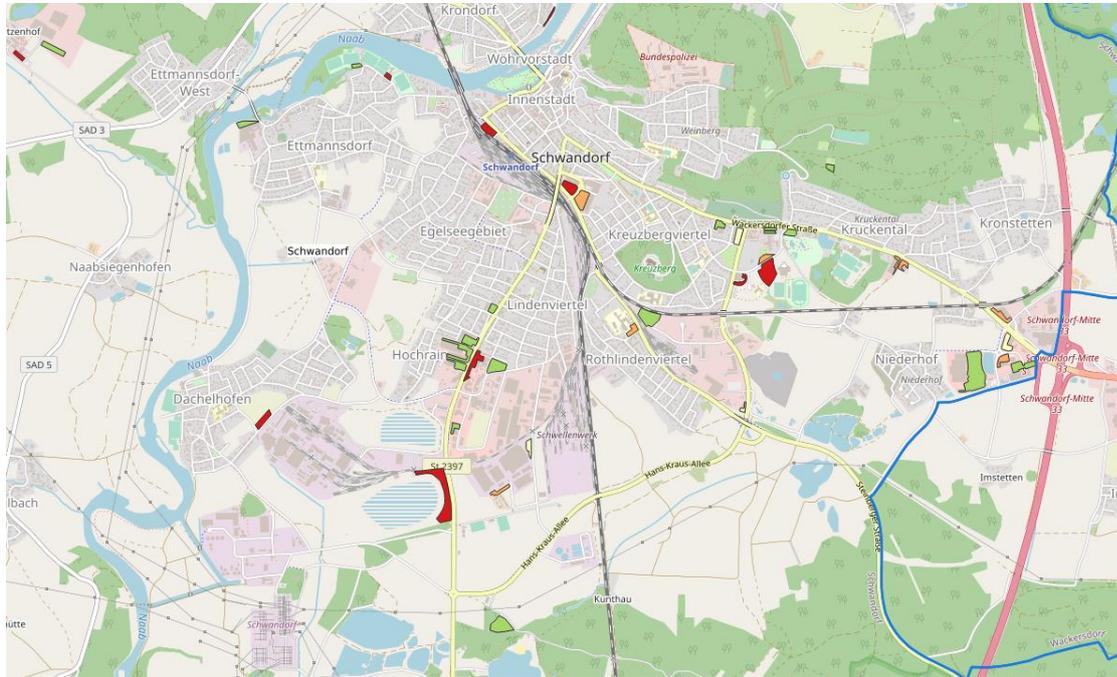


Abbildung 32: Nach Ausrichtung eingestufte identifizierte Parkplatzflächen [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]

Quantitative Analyse

Neben der zuvor geschilderten qualitativen Einschätzung der identifizierten Parkplatzflächen, kann über die messbare Ausdehnung (Fläche in m^2) der Flächen die installierbare Photovoltaik-Leistung und der jeweilige solare Ertrag bestimmt werden.

Insgesamt wurden 47 Parkplatzflächen im Stadtgebiet ermittelt, deren Gesamtfläche über $1.200 m^2$ beträgt. Wie beschrieben, stellt dies einen Erfahrungswert dar, der als Indikator für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Parkplatz-PV-Anlage auf einer betreffenden Fläche dient. In Summe beträgt die Fläche rund $231.000 m^2$ (ca. 23 ha). Unter der Annahme eines spezifischen Flächenbedarfs von in etwa $6 m^2/kW_p$, beträgt die installierbare Leistung $38.600 kW_p$. Der daraus zu generierende jährliche Stromertrag beliefe sich damit auf ca. 39 Mio. kWh, was in etwa 25 % des aktuellen Gesamt-Strombezugs im Stadtgebiet Schwandorf entspräche.

7.2.3 Beispielrechnung

Im Zuge der Überlegungen zur Parkplatz-Photovoltaik wird aus den identifizierten Flächen eine Fläche exemplarisch ausgewählt und eine Einschätzung hinsichtlich der Eignung für ein solches System angestellt. Diese Überlegungen beinhalten über die rein technischen Parameter hinaus, eine Prognose der in etwa für die Maßnahme anfallenden Kosten und eine einfache Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Wie in Kapitel 7.1 geschildert, sind die Möglichkeiten der Ausführung für ein solches Parkplatzsystem sehr vielfältig, weshalb den angesetzten Kosten gewisse Annahmen zur Ausführung zu Grunde gelegt werden müssen. Für präzisere Aussagen muss jeweils eine Einzelfallprüfung, inklusive individueller Abstimmung mit dem jeweiligen Betreiber, durchgeführt werden. Dies kann im Rahmen des Energienutzungsplans nicht geleistet werden. Dies gilt ebenso für Kostenpunkte, die etwa für den Netzanschluss anfallen und auch nur nach Einzelfallprüfung durch den Netzbetreiber konkreter umrissen werden könnten. Daher wurde das hier beleuchtete Beispiel im ersten Schritt sehr einfach gehalten, mit dem Ziel vor allem die allgemein wissenswerten und zu berücksichtigenden Quintessenzen aufzuzeigen.

Als potenzieller Standort wurde eine identifizierte Parkplatzfläche nördlich des Landratsamtes ausgewählt. Bei vor Ort Terminen zeigte sich, dass die nördliche der beiden automatisch identifizierten Flächen tatsächlich ein Parkdeck mit zwei Ebenen darstellt, welches über die vorhanden Datengrundlage nicht als solches zu identifizieren war. Eine Umsetzung für ein Parkplatz-PV-System wäre in der Praxis sicherlich möglich, aber voraussichtlich mit weiteren zu betrachtenden Besonderheiten verbunden. Deshalb wurde für die hier angestellte Beispielrechnung nur die südliche, in der Abbildung 33 eingeraht gekennzeichnete, der beiden hervorgehobenen Flächen herausgegriffen und beleuchtet.



Abbildung 33: Exemplarisch ausgewählte Parkplatzfläche für Beispielrechnung [Bildquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]

Die Fläche beträgt hier in etwa 1.250 m^2 . Wie zuvor beschrieben, bestehen für die Flächen sehr unterschiedliche Optionen der Überdachung (Flächendeckend, einzelne Reihen und weitere). Daher wurde ein konservativer Ansatz getroffen und ein mittlerer Überdeckungsgrad von 80 % angewandt. Zusammen mit den, unter 7.2.2 geschilderten, spezifischen Kennwerten besteht auf der Fläche also ein Potenzial für eine Anlagenleistung von knapp 170 kW_p .

Unter der Annahme eines spezifischen, jährlichen Stromertrags von rund 1.000 kWh/kW_p ergäbe sich ein Solarstrom-Ertrag von 170.000 kWh pro Jahr.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auf Basis der zuvor ermittelten technischen Rahmenbedingungen kann eine erste Prognose über die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme vorgenommen werden. Genauere Prognosen wären, wie bereits erwähnt, erst dann möglich, wenn im Einzelfall mit dem potenziellen Anlagen- und Netzbetreiber die Rahmenbedingungen für die Ausführung bzw. die Bauart der Anlage und der Netzverknüpfungspunkt festgelegt worden wären. Dies ist im Rahmen des Energienutzungsplan nicht vorgesehen. So sind folgende Grundannahmen zu berücksichtigen:

1. Die Investitionskosten sind Durchschnittskosten, die aber je nach Ausführung merklich abweichen können.
2. Der Strompreis wird als Mittelwert über die unterschiedlichen Verbrauchergruppen hinweg verstanden und wird zunächst als konstant angesetzt, da die Entwicklung momentan nicht seriös einzuschätzen ist.
3. Alle genannten Kosten sind Nettokosten.
4. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre.

Die Investitionskosten für Parkplatzsysteme können sehr stark variieren, je nach gewünschter Ausführung, Bodenbeschaffenheit, Einspeisepunkt, etc. Angelehnt an aktuell vorliegende Angebote für unterschiedliche Systeme wird ein spezifischer Systempreis von rund 1.700 €/kW_p abgeleitet. Dementsprechend wird für die geschilderte Beispielanlage ein Invest von rund 283.000 € prognostiziert. Laufende Kosten (z.B. für Versicherung, Verwaltung, Direktvermarktung und Rücklagen) orientieren sich in etwa prozentual am Invest und werden hier mit 4.000 Euro pro Jahr vorhergesagt. Bestenfalls würden sich hieraus pro Kilowattstunde Erzeugungskosten (Stromgestehungskosten) von rund 11,0 Cent/kWh ergeben.

Die aktuelle Mischvergütung nach dem EEG 2023 belief sich auf rund 10,7 Cent/kWh. Mit einer vollständigen Stromeinspeisung nach dem EEG-Vergütungssatz läge man, wie zu erwarten, sehr stark an bzw. sogar unterhalb der Wirtschaftlichkeitsgrenze.

Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz muss Strom aus Anlagen mit einer Leistung von 100 kW_p oder mehr, mittels eines Direktvermarkters an der Strombörse gehandelt werden. Nach aktuellen Börsenstrompreisen sind die zu generierenden Einnahmen zur Zeit signifikant höher, als die nach dem EEG zugesprochene Einspeisevergütung. Im Jahr 2022 lag der Marktwert zwischen rund 12 und 40 Cent/kWh. Diese Börsenpreise sind allerdings nicht konstant und könnten theoretisch sogar auch

wieder unter den Wert der Einspeisevergütung fallen. Dementsprechend wird als Kalkulationsgrundlage der über 20 Jahre, nach dem EEG festgeschriebene Wert herangezogen, wenngleich die Einnahmen über den Stromhandel (aktuell) merklich höher wären.

Insbesondere in Verbindung mit dem Eigenverbrauch des Solarstroms kann aus wirtschaftlicher Sicht eine deutliche Hebelwirkung erzielt werden. Je nach Tarif bzw. Verbrauchergruppe (Industrie, Gewerbe, Privat, Ladestrom) können die Strompreise zwar signifikant variieren, jedoch kann im Normalfall von merklich höheren Erlösen durch vermiedene Strombezugskosten, als bei der Stromvermarktung oder EEG-Einspeisung ausgegangen werden. In der aktuellen Beispielrechnung wird von einem Verbrauchergruppen-übergreifenden Mischwert von 35 Cent/kWh (netto) ausgegangen.

Zusammenfassung

Nachfolgende Tabelle fasst die aktuell relevanten wirtschaftlichen Kenngrößen zusammen.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Anlagenleistung	170 kWp
Spezifischer Jahresertrag	1.000 kWh/kWp
→ Jahresertrag	170.000 kWh
Investitionskosten	283.000 €
Laufende Kosten	4.000 €/a
→ Stromgestehungskosten	11,0 Cent/kWh
Mischvergütung	10,7 Cent/kWh
Mittlerer Börsenpreis 2022	20,8 Cent/kWh
Mittlerer Strombezugspreis	35 Cent/kWh

Allein durch eine Volleinspeisung des Stroms nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz käme in diesem Fall kein wirtschaftlicher Betrieb der Parkplatz-Anlage zustande. Über eine Direktvermarktung zum mittleren Börsenpreis im ersten Moment schon, wobei dieser Wert langfristig stark variieren und als belastbare Kalkulationsgrundlage nur bedingt herangezogen werden kann. Der Mittlere Strombezugspreis stellt, wie zuvor beschrieben, einen Mischwert über verschiedene Verbrauchergruppen hinweg dar. Dabei ist Ladestrom für Elektrofahrzeuge tendenziell wesentlich teurer, während Industrie-Strom tendenziell deutlich günstiger ausfällt. Dennoch kann aus den Größenverhältnissen abgeleitet werden, dass die größte Hebelwirkung und den wirtschaftlichsten Betrieb nicht die reine Stromeinspeisung bietet, sondern der Selbstverbrauch des erzeugten Stroms. Im konkreten Fall der analysierten Beispielfläche, ist der Eigenverbrauch über Ladesäulen für Elektrofahrzeuge am naheliegendsten.

7.3 Praxisbeispiel Hotel Wolfringmühle Fensterbach

Ein Best-Practice-Beispiel für eine Parkplatz-Photovoltaikanlage ist bereits heute im Landkreis vorzufinden. Das Hotel Wolfringmühle in Fensterbach betreibt seit Mai 2021 auf einer seiner Parkplatzflächen eine solche Anlage und berichtet über seither sehr gute Erfahrungen.

Insgesamt wurden hier 177 kW_p Anlagenleistung, angeordnet in mehreren Einzelreihen, installiert. Diese sind im Luftbild in Abbildung 34 und Abbildung 35 ersichtlich. Dazu zeigt die Vor-Ort-Aufnahme in Abbildung 36 eine Übersicht in Boden-Perspektive der Konstruktion.



Abbildung 34: Luftbildaufnahme Hotel und Parkplatz-PV-Anlage [Bildquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]



Abbildung 35: Luftbildaufnahme Hotel und Parkplatz-PV-Anlage [Bildquelle: Anlagenbetreiber]

Es soll in diesem Kapitel eine kurze Übersicht über den Werdegang gegeben werden, um die Umsetzung der Idee in die Praxis zu verdeutlichen.

Die Parkplatzfläche liegt unweit südlich der Hauptgebäude des Hotels und war zuvor bereits klassisch als durchgehend asphaltierte Parkplatz-Fläche genutzt. Die Anlage wurde also zum einen auf einer bestehenden, bereits versiegelten Fläche und zum anderen in räumlicher Nähe zum Betrieb (Stromverbraucher) errichtet und repräsentiert damit eine Konstellation, wie Sie vielerorts (insbesondere bei Gewerbe- und Industriebetrieben) vorzufinden ist.

Die Stahl-Unterkonstruktion ist von ihrem Grundaufbau so angelegt, dass nur auf einer Seite Stützen benötigt werden. Der Gedanke dabei war, die Anzahl erforderlicher Stützen zu reduzieren und mit der Anordnung auch die Wahrscheinlichkeit zu minimieren, dass die Unterkonstruktion von Parkplatznutzern angefahren und beschädigt wird. Dies erforderte eine massivere Ausführung der Träger. In Abstimmung mit den ausführenden Unternehmen (für jeweils Unterkonstruktion und Photovoltaikanlage) wurde diese Unterkonstruktion eigens angefertigt. Die Höhe wurde dabei vorab so festgelegt, dass auch gängige Kleintransporter darunter Platz finden.



Abbildung 36: Vor-Ort-Ansicht Parkplatz-PV-Anlage [Bildquelle: Vor-Ort-Aufnahme IFE]

Die Stützen der Unterkonstruktion werden durch rund vier Meter tiefe Bohrungen im Boden verankert. Vorab waren dazu noch Voruntersuchungen durchzuführen, z.B. hinsichtlich der Bodenfestigkeit. Vorteil der Bauweise ist, dass mit Hilfe eines Kernbohrers direkt durch die Asphaltdecke gebohrt und die Fundamente direkt eingedreht werden konnten (Abbildung 37). Somit war dieser Arbeitsschritt ohne signifikante Arbeiten an der Asphaltdecke und daher auch mit einem geringeren Kostenaufwand zu bewerkstelligen. Die Asphaltdecke musste nur noch minimal geöffnet und wieder verschlossen werden, um Kabel zwischen den freistehenden Überdachungen im Zentrum und dem Parkplatzrand zu verlegen.



Abbildung 37: Auszug aus der Bauphase der Fundamente [Bildquelle: Anlagenbetreiber]

Bei der Konstruktion wurden die Module nicht gleichzeitig auch als Dachhaut verwendet, sondern die Dacheindeckung, wie bei einem klassischen Carport, unabhängig von den Solarmodulen ausgeführt. Der Vorteil dabei: aufgrund der verwendeten Trapezblech-Dachhaut, konnten die die Module mit einem handelsüblichen Montagesystem befestigt werden können. Die verbauten Module benötigen in diesem Fall auch keine spezielle Zulassung als Überkopf-Verglasung. So bietet diese Art der Ausführung insgesamt einen Kostenvorteil. Abbildung 38 zeigt wesentliche Arbeitsschritte aus dieser Bauphase.

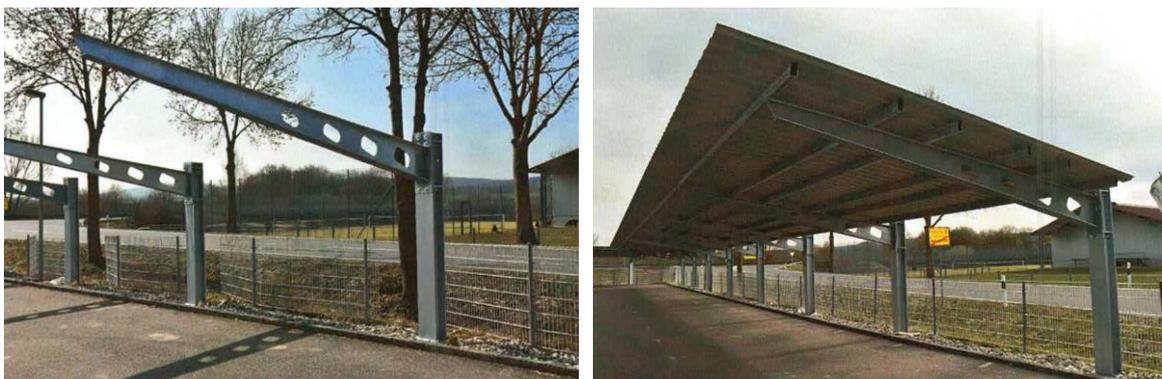


Abbildung 38: Auszug aus der Bauphase der Überdachung (links: Montage Ausleger; rechts: Montage Trapezblechdach [Bildquelle: Anlagenbetreiber]

Die Anlage wurde so konzipiert, dass Stromeigennutzung im Hotel möglich ist. Ein vorteilhafter Umstand dabei war, dass der Netzanschlusspunkt des Hotels direkt auf der gegenüberliegenden Straßenseite liegt, weshalb aus Sicht der elektrischen Einbindung verhältnismäßig wenig Mehraufwand zu betreiben war. So musste die Straße beispielsweise nur über kurze Distanz, zur Querung aufgedigelt und wiederhergestellt werden, was im Vergleich zu vielen anderen Fällen eine wirtschaftlich, aber auch regulatorisch günstigere Konstellation darstellt.

Die Anlage läuft seitdem ohne merkliche Probleme und liefert einen sehr guten Jahresertrag. Rund 169.000 kWh wurden innerhalb eines Jahres produziert, was bei 177 kW_p einem spezifischen Ertrag von rund 960 kWh/kW_p entspricht, einem für diese Breitengrade guten Kennwert. Ca. 60 bis 65 Prozent des generierten Stroms wird direkt im Hotel verbraucht, der Überschussstrom wird, in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist und an der Strombörse direktvermarktet bzw. nach dem Marktprämienmodell EEG-vergütet.

Aktuell sind auch bereits Ladepunkte für Elektrofahrzeuge installiert, die aber zur Zeit noch ohne Abrechnungssystem sind und nur Übernachtungsgästen zur Verfügung stehen. Es ist geplant, weitere Ladepunkte zu installieren und diese mit einem eigenen Abrechnungssystem zu versehen, sodass auch Tagesgästen Ladeinfrastruktur angeboten werden kann. Dies stellt ein, aus energiewirtschaftlicher und energierechtlicher Sicht, komplexeres Prozedere dar, unter anderem da der Anlagenbetreiber durch die Lieferung des Stroms an Dritte rechtlich ein Energieversorgungsunternehmen würde, mit sämtlichen dazugehörigen Aufgaben und Pflichten. Daher ist man seitens des Hotels in Kontakt mit möglichen Dienstleistern, welche die Schnittstelle zwischen Anlagenbetreiber (Hotel) und Stromnutzer (Gast) darstellen und die Stromlieferung abwickeln.

8 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des digitalen Energienutzungsplans für den Landkreis Schwandorf zusammen. Dieser wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

Mit dem digitalen Energienutzungsplan wurde ein Instrument zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieerzeugungs- und Energieversorgungsstruktur erarbeitet. Ein Schwerpunkt 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 anzustoßen bzw. zu forcieren.

In einer umfassenden Bestandsaufnahme wurde zunächst detailliert die **kommunenscharfe Energiebilanz** für die Sektoren Wärme und Strom im Ist-Zustand (Jahr 2019) erfasst und der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung ermittelt. Es wurde darüber hinaus gemeinsam mit dem Landratsamt festgelegt, auch den Sektor Verkehr in diese Betrachtung mit aufzunehmen. Vor dem Hintergrund einer stark steigenden Bedeutung der Sektorenkopplung, ist eine Betrachtung der Entwicklung des Verkehrssektors relevant.

Die Berechnungen zeigen, dass bilanziell bislang 58 % des Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. Die Wärmeerzeugung erfolgt noch zu rund 75 % aus fossilen Energiequellen (vor allem Heizöl und Erdgas). Sämtliche Energieverbrauchsdaten auf thermischer Seite wurden erfasst und in ein gebäudescharfes Wärmekataster überführt. Es stellt ein Werkzeug der kommunalen Wärmeplanung dar und beinhaltet zu jedem Gebäude Informationen zu Nutzungsart (Wohngebäude, Gewerbe, Industrie,...), Baustruktur und rechnerischem Wärmebedarf.

Der Sektor Verkehr hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch im Landkreis. Die Berechnungen zeigen, dass die Mobilität zu rund 24 Prozent zum Gesamt-Endenergiebedarf im Landkreis beiträgt. Der schnell wachsende Anteil an Elektromobilität hat einen wesentlichen Einfluss auf den zukünftigen Energiemix und stellt ebenso stetig wachsende Anforderungen an die Energieinfrastruktur. Sie erhöht nochmals den Bedarf an einem sinnvollen Zusammenspiel aller Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Verkehr (Sektorkopplung).

Aufbauend auf der Analyse des energetischen Ist-Zustands wurde eine **Potenzialanalyse** angestellt, um die technischen Potenziale im Bereich der Energieeinsparung, Effizienzsteigerung und dem Ausbau erneuerbarer Energien zu ermitteln. Um später ein Bild des möglichen Energieszenarios in 2030 und

2040 aufzustellen, ist es zudem wichtig anstehende Transformationsprozesse, wie zum Beispiel die zuvor genannte Entwicklung im Bereich der Elektrifizierung des Verkehrssektors, zu beleuchten.

Für die Potenzialanalyse zur energetischen Sanierung wurde, aufbauend auf dem Wärmekataster, ein gebäudescharfes Sanierungskataster erstellt. Für jedes Gebäude stellt das Sanierungskataster die mögliche Energieeinsparung für definierte Sanierungsvarianten bzw. Sanierungstiefen dar.

Im Zusammenhang mit dem Ausbau erneuerbarer Energien wurde bezüglich sämtlicher Formen der erneuerbaren Energien eine Potenzialanalyse durchgeführt.

So konnte im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans auf ein gebäudescharfes Solarpotenzialkataster für den gesamten Landkreis zurückgegriffen werden. Damit bestand die Möglichkeit unmittelbar abzuleiten, welche Energiemengen aus Aufdachanlagen insgesamt bereitgestellt werden könnten und welchen Anteil diese dann zum Energiemix in Zukunft beitragen würden. Dieses Tool ist für die Bürger des Landkreises nutzbar und bietet dem Anwender die Möglichkeit mit relativ einfachen Mitteln eine Einschätzung über die Eignung der eigenen Dachflächen einzuholen und selbst eine erste technische Vordimensionierung vorzunehmen. Je nach gesetzten Parametern bewertet dieses Tool nach den aktuellen gesetzlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen die Gesamt-Wirtschaftlichkeit der Maßnahme.

Auf der Basis von Daten der bayerischen Vermessungsverwaltung konnte über verschiedene Berechnungsschritte in und mit dem Geoinformationssystem (GIS) eine technisch, für Freiflächen-Photovoltaik-Projekte, nutzbare Flächenkulisse identifiziert werden. Aufgrund der Nutzung der Flächen für landwirtschaftliche Zwecke und der technischen Limitierung im Bereich der Stromnetze können nicht sämtliche Flächen auch tatsächlich nutzbar gemacht werden. Es wurden daher in Abstimmung mit den Akteuren vor Ort sinnvolle Teilmengen des Gesamtpotenzials herausgearbeitet und in das Aufstellen des möglichen Zukunftsszenarios integriert.

In ähnlicher Form wurden geeignete Gebiete für Windkraft analysiert. So wurden in Anlehnung an bestehende Studien des LfU die technisch zur Verfügung stehenden Gebiete identifiziert und mit einem praxisnahen Mindestwert für Windleistungsdichte kombiniert. Die sogenannte 10-H-Regel erfasst große Teile der Gebietsfläche des Landkreises. Jedoch erlaubt die Bayerische Bauordnung seit dem Jahr 2022 deutlich mehr Ausnahmefälle dieser Regelung, was eine signifikante Erweiterung der privilegierten Gebietskulisse zur Folge hat. Rund 2,5 % der Gebietsfläche im Landkreis wäre demzufolge einerseits immissionsschutz- und umweltfachlich geeignet, außerdem außerhalb der 10-H-Mindestabstände und würde dazu ausreichende Windhöflichkeit aufweisen. Ersten konservativen Analysen nach, bieten diese Gebiete Kapazität für mehr als 80 Windkraftanlagen.

Wie zuvor bei der Freiflächen-Photovoltaik-Analyse beschrieben, gibt es auch hier einschränkende Faktoren, die es in der Praxis kaum zulassen, dieses Potenzial vollständig zu nutzen. So wurden für das Aufstellen des Zukunftsszenarios und des Entwicklungspfades auch hier sinnvolle und in individueller Abstimmung Teilmengen herausgegriffen und in den skizzierten Entwicklungspfad übernommen.

Führt man die identifizierten Potenziale mit dem Ist-Zustand als Ausgangsbasis zusammen, so lässt sich der skizzierte **Entwicklungspfad** vom Ausgangspunkt, dem Bilanzjahr 2019, über das Jahr 2030 als Zwischenstation, bis hin zum Jahr 2040 nachvollziehen. Es zeigt sowohl die Resultate der angestellten Einsparberechnungen bzw. der formulierten Einsparziele, als auch die Prognosen der anstehenden Transformationsprozesse in den Sektoren Wärme und Verkehr auf. Parallel dazu kann aufgezeigt werden, wie sich die Entwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien darstellt, wenn die beschriebenen technischen Potenziale kontinuierlich weiter erschlossen werden.

Ausgehend vom identifizierten Ist-Zustand kann mittels der Potenzialanalysen und der sinnvoll abgegrenzten Teilmengen der technischen Potenziale ein Ausbaupfad vorskizziert werden, der bis zum Zieljahr 2040 zu einer vollständigen, bilanziellen Abdeckung des erforderlichen Energiebedarfs aus regionalen Energiequellen führt.

Ein weiteres wesentliches Ziel 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 im Rahmen von Regionalkonferenzen in enger Abstimmung mit den kommunalen Akteuren ausgearbeitet, konkretisiert und abgestimmt. In Summe konnten über 200 konkrete Projektideen identifiziert werden.

Auf Basis der für die einzelnen Kommunen ausgearbeiteten Maßnahmenkataloge, wurde im Rahmen des Energienutzungsplans eine ausgewählte Maßnahme als exemplarisches **Leuchtturmprojekt** detailliert untersucht. Es repräsentiert die identifizierten konkreten Maßnahmen, deren Erkenntnisse für zahlreiche weitere Kommunen im Landkreis als Musterbeispiel dienen können.

Konkret wurde eine Analyse von potenziell für die solare Energiegewinnung nutzbarer Parkplatzflächen (Parkplatz-Photovoltaik) exemplarisch für das Stadtgebiet Schwandorf durchgeführt. Die Stadt Schwandorf dient hier als Demonstrationsobjekt für diese Art der GIS-basierten Flächenanalyse. Die Flächen können auf diese Weise automatisch identifiziert und klassifiziert werden. Daraus hervorgehend wurde anhand einer beispielhaft ausgewählten Fläche aufgezeigt, welche technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sich in dem konkreten Fall ergeben würden und ob es sich dabei um eine wirtschaftlich tragfähige Maßnahme handelt bzw. unter welchen Umständen. Zudem wurde die

Überführung in die Praxis, anhand eines vor Ort bereits erfolgreich umgesetzten Beispiels in der Gemeinde Fensterbach, geschildert.

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>
- [LfU Altholz] Abfallbilanz 2019 - Altholz, https://www.abfallbilanz.bayern.de/wertstoffe_biologisch_gesamt.asp
- [LWF] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Email vom 7.10.2021
- [Sta Ba] Bayerisches Landesamt für Statistik; <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/>
- [STATISTA W] Statistisches Bundesamt; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-deutschland-von-1989-bis-2004/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektablauf und Einbindung der Akteure	7
Abbildung 2: Verlauf der Gas-Fernleitung der Open Grid Europe GmbH (Bildquelle: oge.net, eigene Bearbeitung)	12
Abbildung 3: Exemplarischer Ausschnitt aus dem gebäudescharfen Wärmekataster	14
Abbildung 4: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen Wärmekatasters [Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	15
Abbildung 5: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019	16
Abbildung 6: Verteilung der Energieträger zur Bereitstellung von thermischer Energie	17
Abbildung 7: Strombezug der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019.....	18
Abbildung 8: Strom-Einspeisung aus Erneuerbare-Energien- und KWK-Anlagen.....	19
Abbildung 9: Gegenüberstellung von Strombezug und -einspeisung im Ist-Zustand (Bilanzjahr 2019).....	20
Abbildung 10: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	21
Abbildung 11: Exemplarischer Ausschnitt aus dem Sanierungskataster vor und nach der Sanierung im Jahr 2030	27
Abbildung 12: Auszug Solarpotenzialkataster für den Landkreis Schwandorf [Bildquelle: https://www.solare-stadt.de/landkreis-schwandorf/]	31
Abbildung 13: Übersicht landwirtschaftlich benachteiligter und nicht-benachteiligter Gebiete im Landkreis [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	34
Abbildung 14: Übersicht über die Bereiche des Landschaftsschutzgebietes im Landkreis Schwandorf [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	36
Abbildung 15: Übersicht über das Ergebnis der Analyse der technischen Potenziale im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik im Landkreis [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung].....	37

Abbildung 16: Auszug aus der Gebietskulisse Windkraft [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung].....	46
Abbildung 17: Darstellung der Gebiete im Landkreis mit Mindestwindleistungsdichte größer 200 W/m ² in 160 m Höhe [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	47
Abbildung 18: Gebietskulisse Windkraft des LfU kombiniert mit der festgelegten Mindestwindleistungsdichte [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	48
Abbildung 19: Übersicht potenziell nutzbarer Gebiete für Windkraftanlagen [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung].....	50
Abbildung 20: Oberflächennahe Geothermie – Standorteignung [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung].....	54
Abbildung 21: Energieszenario 2019 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und der Transformationsprozesse	58
Abbildung 22: Energieszenario 2019 bis 2040 – Entwicklungspfad beim Erschließen der Potenziale erneuerbarer Energien	61
Abbildung 23: Energieszenario im Jahr 2040 – Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energien.....	62
Abbildung 24: Energieszenario im Jahr 2040 – Resultat des alternativen Szenarios.....	64
Abbildung 25: Verschiedene Konstruktionsmöglichkeiten für Parkplatzüberdachung (Bildquelle: www.solarcluster-bw.de)	70
Abbildung 26: Parkplatzüberdachung mit Glas-Glas PV-Modulen (Bildquelle: www.pv-magazine.de)	71
Abbildung 27: An einen Stützpfeiler montierte Ladesäule (Bildquelle: www.hoermann-info.de).....	72
Abbildung 28: Erster Zwischenschritt der Analyse: Identifikation von Parkplatzflächen allgemein [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]	74

Abbildung 29: Identifizierte Parkplatzflächen (> 1.200 m ²) zur tiefergehenden Untersuchung [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]	75
Abbildung 30: Größenverteilung der identifizierten Flächenkulisse.....	75
Abbildung 31: Nach Formfaktor eingestufte identifizierte Parkplatzflächen [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]	77
Abbildung 32: Nach Ausrichtung eingestufte identifizierte Parkplatzflächen [Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, OpenStreetMap, eigene Bearbeitung]	78
Abbildung 33: Exemplarisch ausgewählte Parkplatzfläche für Beispielrechnung [Bildquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung]	80
Abbildung 34: Luftbildaufnahme Hotel und Parkplatz-PV-Anlage [Bildquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung].....	83
Abbildung 35: Luftbildaufnahme Hotel und Parkplatz-PV-Anlage [Bildquelle: Anlagenbetreiber]	83
Abbildung 36: Vor-Ort-Ansicht Parkplatz-PV-Anlage [Bildquelle: Vor-Ort-Aufnahme IfE]	84
Abbildung 37: Auszug aus der Bauphase der Fundamente [Bildquelle: Anlagenbetreiber].....	85
Abbildung 38: Auszug aus der Bauphase (links: Montage Auslege, rechts: Montage Trapezblechdach [Bildquelle: Anlagenbetreiber]	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die CO ₂ -Äquivalente der jeweiligen Energieträger [GEMIS 4.9; KEA; Berechnungen IfE]	23
Tabelle 2: Potenzialanalyse Photovoltaik-Freiflächenanlagen – Kriterien.....	35
Tabelle 3: Zusammenfassung des rechnerischen, territorialen Gesamtpotenzials im Bereich fester Biomasse	42
Tabelle 4: Die den Ausbaupfaden zu Grunde liegenden Erschließungsgrade der technischen Potenziale	60
Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	82

Anhang