

Digitaler Energienutzungsplan

Stadt Windsbach

Jahr 2024

Digitaler Energienutzungsplan

Stadt Windsbach

Auftraggeber:

Stadt Windsbach
Hauptstraße 15
91575 Windsbach

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Projektablauf und Akteursbeteiligung.....	4
3	Analyse der energetischen Ausgangssituation	6
3.1	Methodik und Datengrundlage.....	6
3.1.1	Definition der Verbrauchergruppen	6
3.1.2	Datengrundlage und Datenquellen.....	7
3.2	Energieinfrastruktur	8
3.3	Sektor Wärme	9
3.3.1	Gebäudescharfes Wärmekataster	9
3.3.2	Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien	11
3.4	Sektor Strom	13
3.5	Sektor Verkehr	16
3.6	Gesamtenergie- und CO ₂ -Bilanz im Ist-Zustand.....	18
4	Potenzialanalyse	20
4.1	Grundannahmen	20
4.2	Potenziale zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz.....	20
4.2.1	Private Haushalte.....	20
4.2.2	Kommunale Liegenschaften	21
4.2.3	Gewerbe und Industrie	22
4.2.4	Gebäudescharfes Sanierungskataster.....	22
4.3	Transformationsprozesse	23
4.3.1	Elektrifizierung im Sektor Mobilität	23
4.3.2	Elektrifizierung durch den Einsatz von Wärmepumpen (Power-to-Heat)	24
4.4	Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien	25
4.4.1	Potenzialbegriff.....	25
4.4.2	Solarthermie und Photovoltaik.....	26

4.4.3	Photovoltaik auf Freiflächen.....	28
4.4.4	Windkraft	31
4.4.5	Biomasse	33
4.4.6	Geothermie	34
5	Energieszenario 2040 - Zusammenfassung der Potenzialanalyse	37
5.1	Szenario 1	38
5.2	Szenario 2	40
5.3	Szenario 3	41
6	Maßnahmenkatalog.....	43
7	Schwerpunktprojekte.....	46
7.1	Energiecheck der Kläranlage Windsbach	46
7.1.1	Rahmenbedingungen und Datengrundlage	46
7.1.2	Einordnung des Strombedarfes	47
7.1.3	Einordnung der Eigenstromversorgung	50
7.1.4	Maßnahmenempfehlung.....	50
7.2	Aufbau eines Nahwärmenetzes in der Stadt Windsbach	51
7.2.1	IST-Zustand	51
7.2.2	Möglicher SOLL-Zustand.....	53
7.2.3	Ökonomische und ökologische Einschätzung.....	62
7.2.4	Fördermöglichkeiten Wärmenetze	63
7.3	Detailprojekt – PV-Betrachtung Schule und Bauhof	68
7.3.1	Bauhof	68
7.3.2	Grund- und Mittelschule	70
7.3.3	Fazit.....	72
8	Zusammenfassung.....	74
	Abbildungsverzeichnis.....	76
	Tabellenverzeichnis.....	79

1 Einleitung

Mit dem digitalen Energienutzungsplan (ENP) für die Stadt Windsbach wird ein Instrument zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieerzeugungs- und Energieversorgungsstruktur erarbeitet. Der Fokus liegt dabei auf der Identifizierung 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, Wärme und Verkehr
- ein digitales Energiemodell mit gebäudescharfem Wärmekataster in den Verbrauchergruppen Private Haushalte, Kommunale Liegenschaften und Gewerbe/Industrie
- eine gebäudespezifische Analyse des Sanierungspotenzials
- eine standortspezifische Potenzialanalyse zum Ausbau erneuerbarer Energieträger
- ein Energieszenario zur Erreichung einer bilanziellen Eigenversorgung aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2040
- die Ausarbeitung eines umfassenden Maßnahmenkatalogs mit detaillierter Betrachtung einzelner Leuchtturmprojekte

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). Auch wenn es sich dabei ausschließlich um energierelevante Informationen handelt und nicht um Informationen zu Personen selbst, unterliegen die Daten und das ausgearbeitete Kartenmaterial dem Datenschutz. Aus diesem Grund enthält dieser Endbericht keine gebäudescharfen Informationen.

2 Projekttablauf und Akteursbeteiligung

Die Entwicklung des digitalen Energienutzungsplans erfolgte in mehreren Projektphasen. Zunächst wurde auf Basis einer umfassenden Bestandsaufnahme eine fortschreibbare Energiebilanz für Strom, Wärme und Mobilität im Ist-Zustand (Jahr 2021) erstellt. Dabei wurde zwischen den Verbrauchergruppen „Private Haushalte“, „Kommunale Liegenschaften“, „Gewerbe/Industrie“ und „Verkehr“ unterschieden. Die Energieströme 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, Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zu erwartende Transformationsprozesse (E-Mobilität, verstärkter Einsatz von Wärmepumpen) realistisch ausgeschöpft werden können. Ebenso wurden die erschließbaren Ausbaupotenziale regionaler erneuerbarer Energieträger analysiert.

Zentrales Element des digitalen Energienutzungsplans ist die Ausarbeitung eines Energieszenarios bis zum Jahr 2040. Dieses Energieszenario dient als übergeordneter Handlungsleitfaden und Basis zur Ableitung eines konkreten Maßnahmenkatalogs.

Der Energienutzungsplan wurde in enger Abstimmung mit allen relevanten Akteuren ausgearbeitet:

Auftaktveranstaltung:

Die grundlegende und strategische Organisation, die Zeitplanung und die fachliche Ausrichtung des digitalen Energienutzungsplans wurde bei einer Auftaktveranstaltung besprochen.

Abstimmungstermine:

Im Rahmen von mehreren Terminen wurden, in enger Abstimmung mit den lokalen Akteuren (Stadtverwaltung/Stadtwerke), regelmäßig die Zwischenergebnisse abgestimmt und fortgeschrieben.

Abschlussveranstaltung:

Die Endergebnisse des digitalen Energienutzungsplans wurden vorgestellt und der Abschlussbericht übergeben.

Visualisierung wesentlicher Ergebnisse in einem Geoinformationssystem (GIS)

Der digitale Energienutzungsplan basiert auf einer umfangreichen Datenbank mit Visualisierung der wesentlichen Ergebnisse in einem Geoinformationssystem (GIS). Die Datensätze wurden dem Auftraggeber übermittelt. Dieser Abschlussbericht bildet somit nur einen Bestandteil der ausgearbeiteten Leistungen im Rahmen des Energienutzungsplans ab. Im GIS sind u.a. die nachfolgenden Informationen aufbereitet:

- Gebäudescharfes Wärmekataster– Darstellung thermischer Hotspots in Form einer Heatmap
- Georeferenzierte Darstellung der Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien im Ist-Zustand
- Gebäudescharfes Sanierungskataster
- Potenzialanalyse erneuerbarer Energien, z.B. Analyse potenzieller Flächen für Freiflächen-Photovoltaik

Die GIS-Daten können dann vom Auftraggeber in vielfältiger Form für die tägliche Arbeit genutzt werden. Als Beispiel sei hier die Nutzung des gebäudescharfen Wärmekatasters aufgeführt. Wärmekataster finden als Planungs- und Entscheidungsgrundlage beim Ausbau von Wärmenetzen, bei der Entwicklung von Förder- und Sanierungsmaßnahmen, in der Energie- und Sanierungsberatung sowie im Rahmen des Klimaschutzmonitorings Anwendung.

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 jeweils nur innerhalb der Kommune betrachtet. Dies bedeutet, dass nur Energieverbräuche innerhalb der Stadtgrenze erfasst und bilanziert werden und der Anteil erneuerbarer Energien sich rein aus den Erzeugungsmengen der Anlagen im Stadtgebiet zusammensetzt.

3.1.1 Definition der Verbrauchergruppen

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans werden folgende Verbrauchergruppen definiert:

a) Private Haushalte

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

b) Kommunale Liegenschaften

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

c) Gewerbe/Industrie

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

d) Verkehr

Der Endenergiebedarf im Sektor Verkehr schließt sämtliche Bereiche der Mobilität mit ein. So sind nicht nur die zugelassenen KfZs oder LKWs im Bilanzraum in dieser Analyse berücksichtigt, sondern auch Flug-, Schienen- und Bahnverkehr.

3.1.2 Datengrundlage und Datenquellen

Alle Datenerhebungen, Analysen und Berechnungen im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans beziehen sich auf das Bilanzjahr 2021. Für das Jahr 2022 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), Erdgas und Fernwärme. Hierfür wurden exakte Netzabsatzdaten für das Jahr 2021 zur Verfügung gestellt.
- Gebäudescharfe Erfassung des Energieverbrauchs der kommunalen Liegenschaften mittels Erfassungsbogen.
- Datenerhebungsbögen im Bereich der Wirtschaftsbetriebe.
- Datenerhebungsbögen im Bereich der Biogasanlagen.
- Datenabfrage Solarthermie: Die Gesamtfläche, der in der 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).
- 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).
- Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung (z. B. 3D-Gebäude- und Geländemodell, Laserscandaten, etc.) zur Simulation des Wärmekatasters.
- Veröffentlichungen über den bundesweiten Endenergieverbrauch nach Kraftstoffarten des Bundesverkehrsministeriums wurden für die Analyse des Endenergiebedarfs im Sektor Mobilität herangezogen.

3.2 Energieinfrastruktur

Hinweis:

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

Sämtliche vorhandenen Infrastrukturdaten wurden in ein GIS überführt.

Stromnetz

Das Stromnetz in Windsbach wird von zwei Netzbetreibern (Verteilnetzbetreiber) betrieben:

- N-ERGIE Netz GmbH
- Stadtwerke Windsbach

Es liegen vollständige Netzabsatzdaten und Daten zur Stromeinspeisung vor.

Erdgasnetz

Das Erdgasnetz in Windsbach wird von der N-ERGIE Netz GmbH betrieben. Es liegen vollständige Netzabsatzdaten vor.

Wärmenetze

In der Stadt Windsbach sind mehrere Wärmenetze als leitungsgebundene Infrastruktur vorhanden, die vor allem aus der Abwärme der Biogasanlagen gespeist werden.

3.3 Sektor Wärme

3.3.1 Gebäudescharfes Wärmekataster

Das gebäudescharfe Wärmekataster ist ein Werkzeug der kommunalen Wärmeplanung. Es erfasst alle beheizten Gebäude und beinhaltet zu jedem Gebäude Informationen zur 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 und Kommunale Liegenschaften.

Abbildung 1 zeigt den Ausschnitt eines anonymisierten gebäudescharfen Wärmekatasters. Das Wärmekataster für die Stadt Windsbach liegt dem Energienutzungsplan bei und wird in das GIS überführt.



Abbildung 1: Anonymisierter Ausschnitt eines gebäudescharfen Wärmekatasters

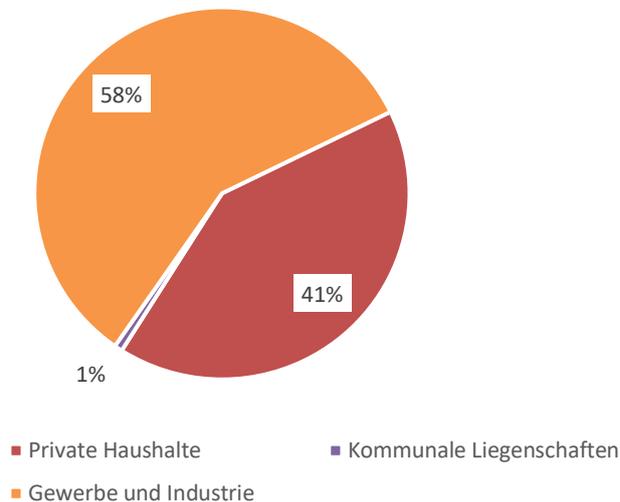
Die Wärmedichte fasst den Wärmebedarf mehrerer Gebäude zusammen und hebt somit Gebietsumgriffe mit einem hohen Wärmebedarf hervor. Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Wärmebedarf als Wärmedichtekarte in definierten Gebietsumgriffen der Stadt Windsbach. Das vollständige gebäudescharfe Wärmekataster liegt dem Energienutzungsplan bei und wurde in das GIS überführt. Aus datenschutzrechtlichen Gründen darf dieses nicht im Abschlussbericht veröffentlicht werden.



Abbildung 2: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen Wärmekatasters der Stadt Windsbach

3.3.2 Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien

Der jährliche Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung aller Verbrauchergruppen beläuft sich auf rund 122.370 MWh pro Jahr. In Abbildung 3 ist die Aufteilung des Wärmebedarfs in die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Den höchsten Wärmebedarf weist die Verbrauchergruppe Gewerbe und Industrie auf, gefolgt von den privaten Haushalten und den kommunalen Liegenschaften.



Wärmebedarf nach Verbrauchergruppen	MWh/a
Private Haushalte	50.423
Kommunale Liegenschaften	849
Gewerbe und Industrie	71.098
Summe	122.370

Abbildung 3: Wärmebedarf im Jahr 2021 - Verbrauchergruppen

Von den insgesamt 122.370 MWh Wärmebedarf im Jahr 2021 werden rund 44 % aus erneuerbaren Energien bereitgestellt. Besonders ist hierbei die Biomasse (Holz) mit insgesamt ca. 40 % und die Abwärme aus Biogasanlagen mit 3 % hervorzuheben. Der hohe Anteil an Biomasse lässt sich unter anderem durch verstärkten Einsatz von Holz im Sektor Gewerbe und Industrie begründen. Dies liefert einen wertvollen Beitrag zur klimaneutralen Wärmeversorgung bereits im Ist-Zustand. Der größte Anteil an der Wärmeversorgung wird allerdings durch die fossilen Energieträger Erdgas (22 %) und Heizöl (33 %) gedeckt (siehe Abbildung 4).

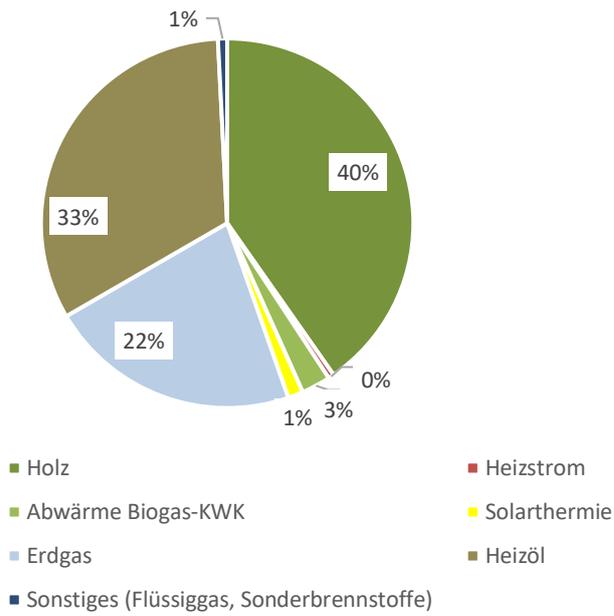
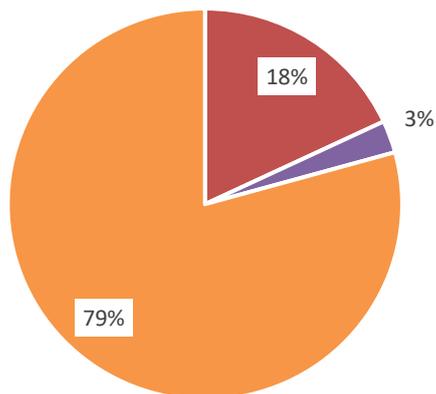


Abbildung 4: Wärmeverbrauch im Jahr 2021 - Energieträger

Energieträger "Thermisch"	MWh/a
Holz	49.343
Heizstrom	607
Abwärme Biogas-KWK	3.100
Solarthermie	1.626
Erdgas	26.832
Heizöl	39.890
Sonstiges (Flüssiggas, Sonderbrennstoffe)	974
Summe	122.370

3.4 Sektor Strom

Der Strombezug im Jahr 2021 beläuft sich in Summe auf rund 37.252 MWh. Die Aufteilung des Strombedarfs in die einzelnen Verbrauchergruppen zeigt, dass die Verbrauchergruppe Gewerbe und Industrie, mit rund 29.533 MWh, den größten Anteil einnimmt, gefolgt von den privaten Haushalten. Die Kommunalen Liegenschaften benötigen in etwa 3 % des jährlichen Strombedarfs in der Stadt Windsbach.



Strombezug nach Verbrauchergruppen	MWh/a
Private Haushalte	6.725
Kommunale Liegenschaften	994
Gewerbe und Industrie	29.533
Summe	37.252

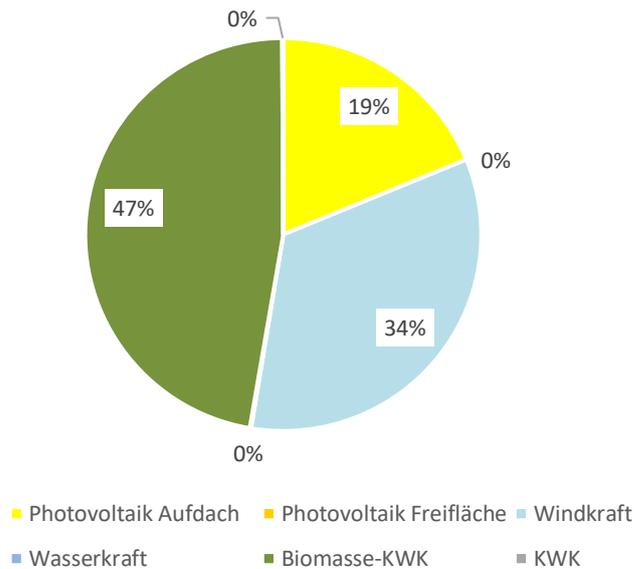
■ Private Haushalte ■ Kommunale Liegenschaften ■ Gewerbe und Industrie

Abbildung 5: Strombezug im Jahr 2021 - Verbrauchergruppen

Im Rahmen der Gesamt-Energiebilanz wurden des Weiteren die eingespeisten Strommengen aus Energie-Erzeugungsanlagen im Stadtgebiet detailliert erfasst und analysiert.

Abbildung 6 zeigt die eingespeisten Strommengen aus Photovoltaik, Wasserkraft, Biogas sowie aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK). In Summe wurden im Bilanzjahr 2021 rund 38.731 MWh in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Den größten Anteil bildeten dabei die Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Hierzu zählen beispielsweise alle Biogasanlagen im Betrachtungsgebiet. Dem gegenüber steht ein Strombezug im Jahr 2021 in Höhe von 37.252 MWh.

⇒ **Jahr 2021: Der bilanzielle Anteil erneuerbarer Energien/KWK an der Stromversorgung betrug rund 104 %**



Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien **MWh/a**

Photovoltaik Aufdach 7.270

Photovoltaik Freifläche 0

Windkraft 13.103

Wasserkraft 43

Biomasse-KWK 18.282

Sonstige KWK 34

Summe **38.731**

Abbildung 6: Stromverbrauch im Jahr 2021 – Bilanzieller Mix

Hinweise:

- Die Stromeigennutzung aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen und KWK-Anlagen ist nicht im Anteil des jeweiligen Energieträgers enthalten. Stattdessen wird die tatsächlich in das öffentliche Netz eingespeiste Strommenge aus erneuerbaren Energien berücksichtigt und dem tatsächlichen Strombezug aus dem öffentlichen Netz gegenübergestellt. Stromeigennutzung führt zu einer Minderung des Strombezugs aus dem Stromnetz. Diese angewandte Bilanzierungsmethodik ist entscheidend für eine kontinuierliche Fortschreibung des Energienutzungsplans und der Energiebilanz, da nur Bezugs- und Einspeisedaten den Energieversorgern exakt und vollumfänglich vorliegen.
- Zum Zeitpunkt der Datenerhebung lag für alle Datensätze als letztes vollständiges Kalenderjahr das Jahr 2021 vor (Bilanzjahr) → im Jahr 2022 und später neu errichtete EEG- und KWK-Anlagen sind in der Energiebilanz im Ist-Zustand nicht mit eingerechnet.
- Anlagen mit einer elektrischen Leistung kleiner 30 kW sind nicht in Abbildung 7 verzeichnet, da diese Informationen aus Datenschutzgründen nicht georeferenziert vorliegen

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans wurden die eingespeisten Strommengen aus Energieerzeugungsanlagen detailliert erfasst und analysiert. Nachfolgende Abbildung 7 zeigt eine Standortübersicht der Erneuerbare-Energien-Anlagen mit einer elektrischen Leistung größer 30 kW.

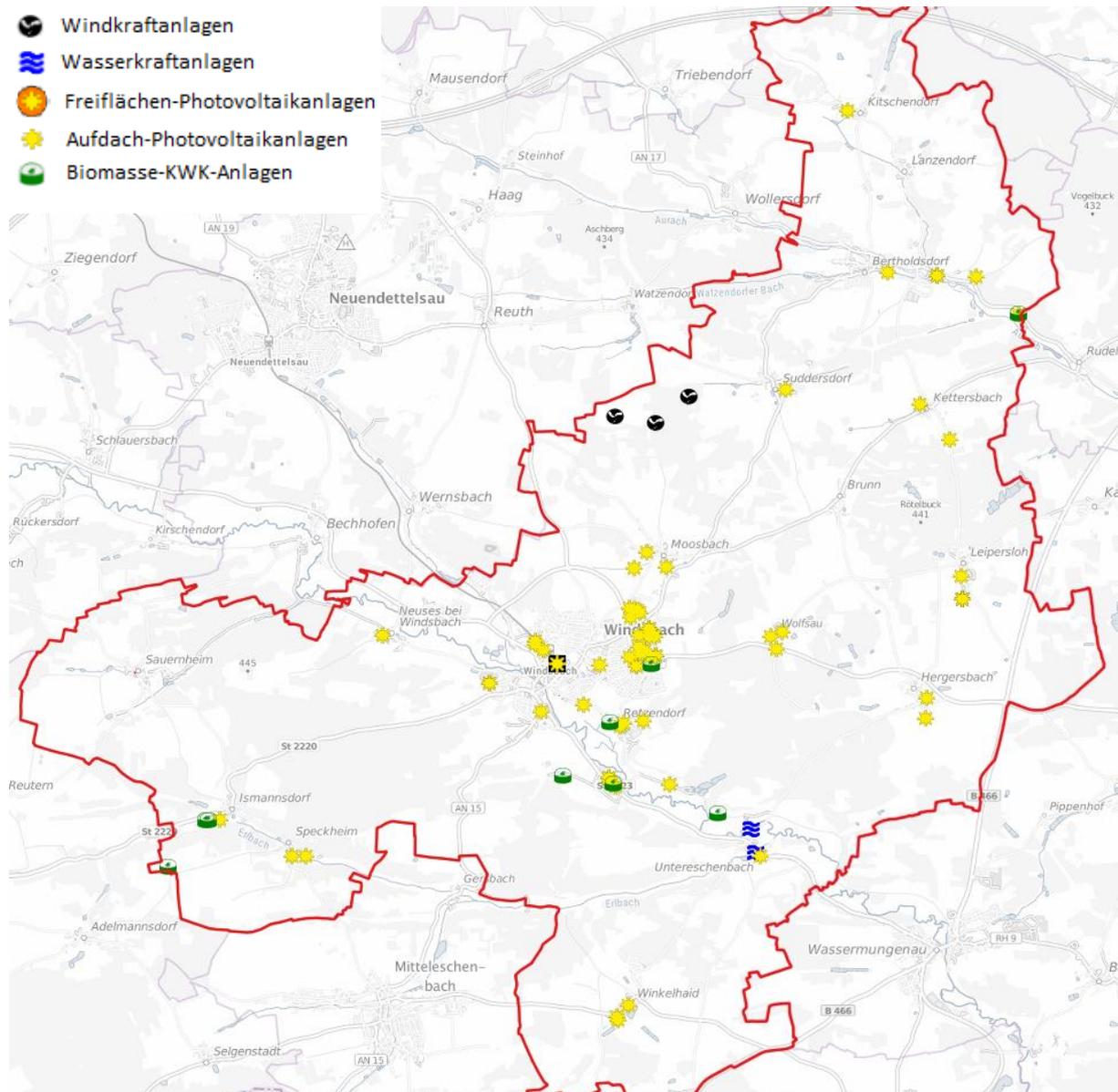


Abbildung 7: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung] Hinweis: Das Bilanzjahr ist 2021, später errichtete Anlagen sind nicht abgebildet.

3.5 Sektor Verkehr

Hinweis:

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

Als Grundlage für die Berechnung des Endenergieverbrauchs im Sektor Verkehr für die Stadt Windsbach wurde die Verkehrsstatistik Deutschlands herangezogen. Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr veröffentlicht dazu jährlich das Werk „Verkehr in Zahlen“ mit den aktuellen Daten. Unter Berücksichtigung der Gesamtbevölkerung Deutschlands im Bezugsjahr 2021 (gemäß des Statistischen Bundesamts) konnte mit den Daten der Verkehrsstatistik ein Kennwert für den Endenergieverbrauch pro Einwohner im Sektor Verkehr gebildet werden.

Dem vorliegenden Energienutzungsplan liegt der spezifische Kennwert von 9.047 kWh/Einwohner zugrunde. Für die Stadt Windsbach mit der Einwohnerzahl 6.153 (gemäß dem Bayerischen Landesamt für Statistik) folgt im Jahr 2021 ein Endenergieverbrauch im Sektor Verkehr von rund 54.804 MWh.

Zum gesamten Endenergieverbrauch des Sektors (Abbildung 8) zählen der Schienen-, Straßen- und Luftverkehr sowie die Binnenschifffahrt. Beim Straßenverkehr wird zwischen Personen- und Güterverkehr unterschieden. Zum Personenverkehr zählen der öffentliche und der Individualverkehr. Letzterer bildet den größten Anteil am Endenergieverbrauch. Die Zahlen der Statistik für ganz Deutschland sind in Abbildung 8 nach den Verkehrsbereichen dargestellt.

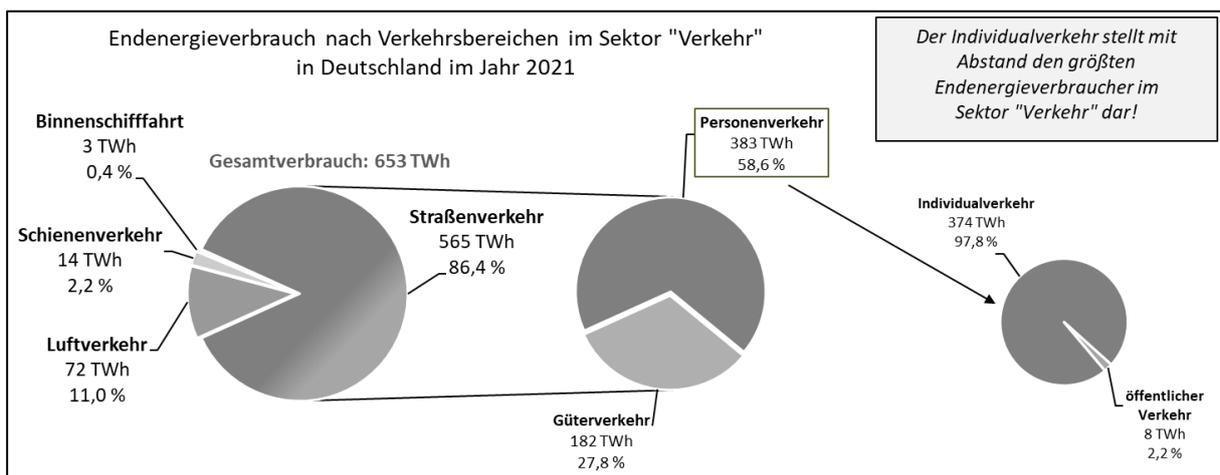


Abbildung 8: Endenergieverbrauch nach Verkehrsbereichen im Sektor "Verkehr" in Deutschland im Jahr 2021. Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 303; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.)

Neben der Aufschlüsselung in Verkehrsbereiche geht aus den Daten der Verkehrsstatistik der Anteil verschiedener Energieträger am Endenergieverbrauch des Sektors Verkehr hervor (Abbildung 9).

Demnach werden überwiegend fossile Kraftstoffe eingesetzt. Energieträger aus erneuerbarer Energie (bspw. Biomasse oder bedingt auch elektrischer Strom) spielen in diesem Sektor aktuell eine geringe Rolle.

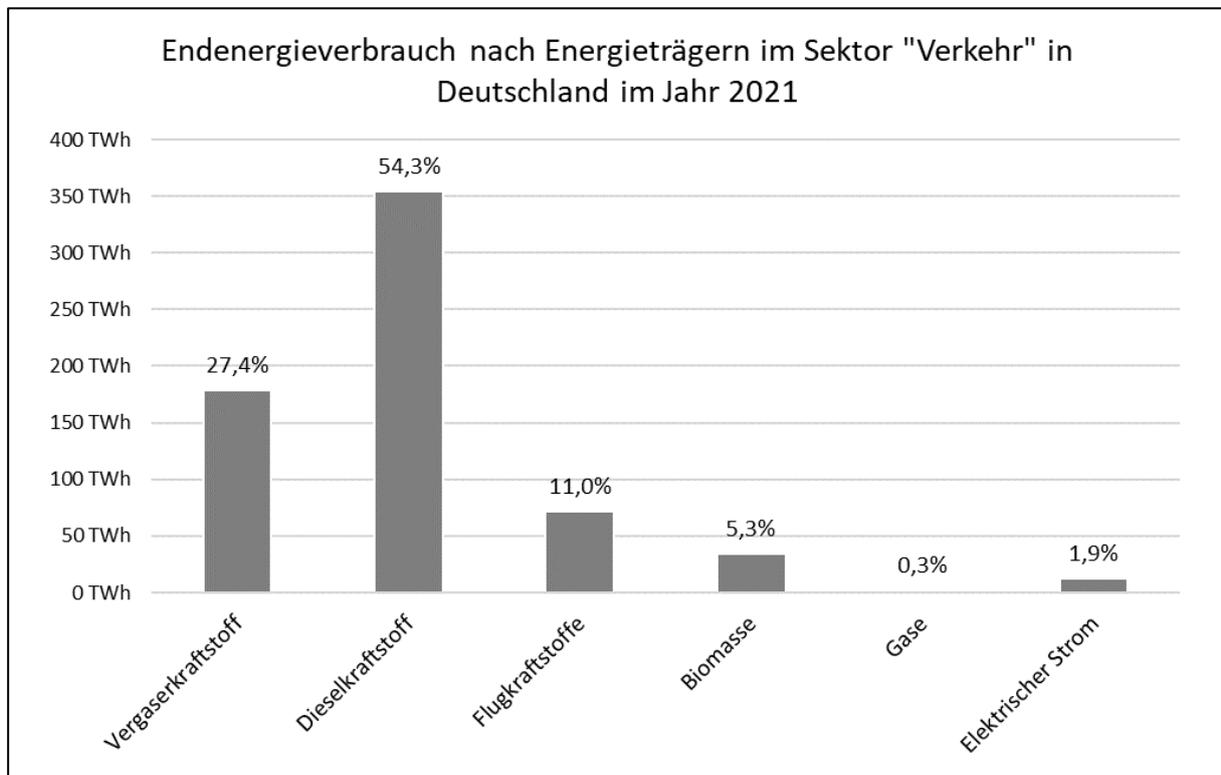


Abbildung 9: Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor Verkehr in Deutschland im Jahr 2021. Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 304; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.)

3.6 Gesamtenergie- und CO₂-Bilanz im Ist-Zustand

In Abbildung 10 ist dargestellt, wie sich der Endenergiebedarf auf die betrachteten Verbrauchergruppen Private Haushalte, Kommunale Liegenschaften, Gewerbe/Industrie und Verkehr verteilt. Den höchsten Energieverbrauch weist im Vergleich die Verbrauchergruppe Gewerbe und Industrie auf, gefolgt von den Verbrauchergruppen Private Haushalte, Verkehr, Mobilität und den Kommunalen Liegenschaften.

Die Kommunalen Liegenschaften spielen hinsichtlich des Gesamt-Endenergiebedarfs im Vergleich eine eher untergeordnete Rolle. Jedoch kommt dieser Verbrauchergruppe ein besonderes Augenmerk zu, da für die Kommune die Handlungsmöglichkeiten am unmittelbarsten gegeben sind und mit konkreten Maßnahmen gegenüber den Bürgern und Unternehmen eine Vorbildfunktion ausgeübt werden kann.

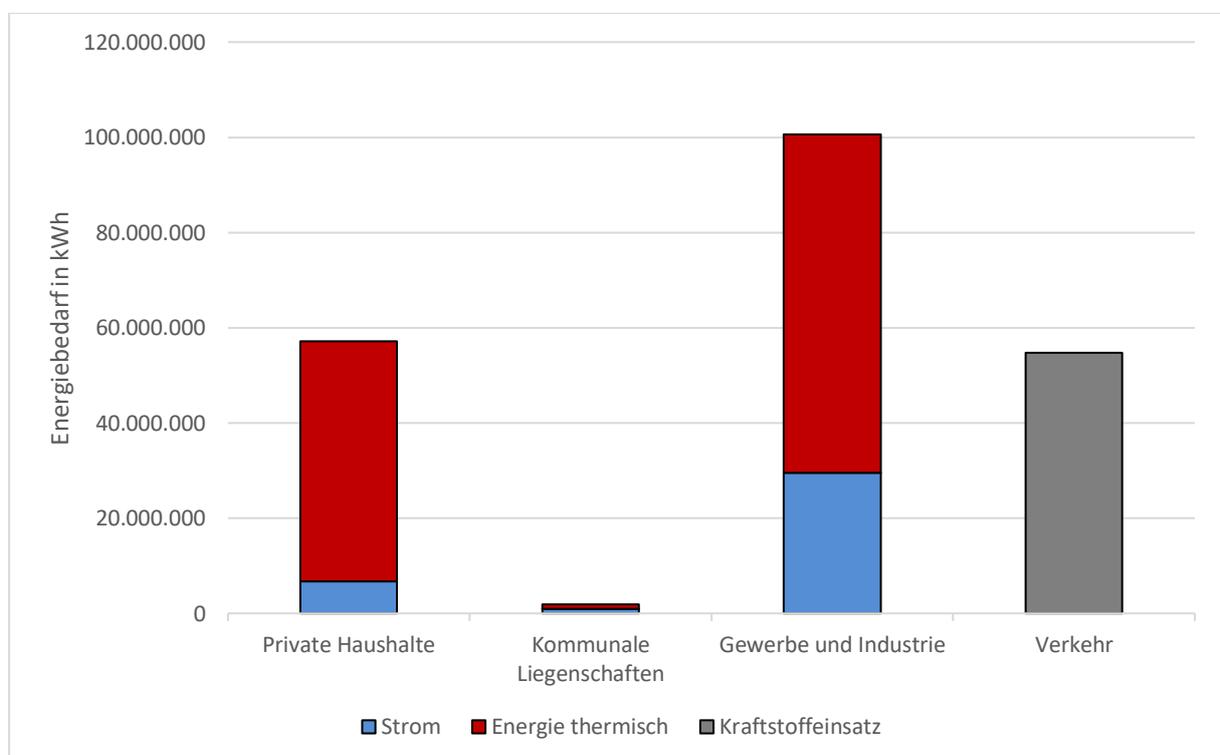


Abbildung 10: Endenergieeinsatz aufgeschlüsselt nach den Verbrauchergruppen

Um auf Basis des ermittelten Strom- und Wärmebedarfes sowie der Anteile der jeweiligen Energieträger am Endenergiebedarf die CO₂-Bilanz bilden zu können wird jedem Energieträger ein spezifischer CO₂-Emissionsfaktor zugewiesen, das sogenannte CO₂-Äquivalent. Dieses beinhaltet neben den direkten Emissionen (z.B. aus der Verbrennung von Heizöl) auch die vorgelagerten Bereitstellungsketten (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

Aus dem Gesamtenergieverbrauch und der Stromeinspeisung erneuerbarer Energien und KWK resultiert ein Ausstoß von rund 36.184 Tonnen CO₂ pro Jahr (inkl. Verkehr). Dies entspricht einem jährlichen Ausstoß klimawirksamer Gase von rund 6 Tonnen CO₂ pro Einwohner.

4 Potenzialanalyse

4.1 Grundannahmen

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

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

4.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz

4.2.1 Private Haushalte

Für die Sanierungsvarianten im Wohngebäudebestand wurden die Berechnungen mit der Maßgabe einer ambitionierten, aber realistischen Sanierungsrate der Wohngebäudefläche von 2 % pro Jahr durchgeführt. Durch die Einsparmaßnahmen soll in diesem Szenario ein energetischer Stand von im Mittel rund 100 kWh/m² erzielt werden. Insgesamt könnten somit rund 18 % des Wärmeverbrauchs der Wohngebäude bis 2040 eingespart werden, was einer Reduktion von derzeit ca. 50.400 MWh/a auf etwa 41.200 MWh/a entspricht. Die hier zu Grunde gelegte Sanierungsrate und Sanierungstiefe liegt über dem Bundesdurchschnitt, könnte jedoch über entsprechende Informations-, Beratungs- und Fördermaßnahmen erreicht werden.

Der Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten trägt zu einer Reduzierung des Stromverbrauchs und somit auch zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei. Die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ erfolgt in Anlehnung an die [EU-Energie-Effizienzrichtlinie]. Es wird angenommen, dass, bezogen auf den Ist-Zustand, bis zum Zieljahr 2040 jährlich 1,5 % des Strombedarfs eingespart werden können. In Summe kann der Stromverbrauch in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ bis zum Jahr 2040 von derzeit 6.725 MWh pro Jahr auf 5.046 MWh gesenkt werden (rund 25 %). Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombedarf für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombedarf wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.2.2 Kommunale Liegenschaften

Aus Sicht des Bundes kommt den Städten und Kommunen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen zu. Die Motivation zur eigenen Zielsetzung und Mitwirkung bei der Reduktion der CO₂-Emissionen für die Städte und Kommunen kann dabei in mehrere Ebenen untergliedert werden:

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

In Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgt die Ermittlung der Einsparpotenziale in der Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften“ in Anlehnung an die EU-Energie-Effizienzrichtlinie. Es wird angenommen, dass, bezogen auf den Ist-Zustand, bis zum Zieljahr 2040 jährlich

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

eingespart werden können.

Als Ergebnis kann bei Ausschöpfen der Energieeinsparpotenziale im Bereich der Kommunalen Liegenschaften der Stromverbrauch von derzeit 994 MWh/a auf rund 746 MWh jährlich und der Wärmebedarf von rund 849 MWh/a auf ca. 637 MWh/a gesenkt werden. Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombedarf für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombedarf wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.2.3 Gewerbe und Industrie

Da Unternehmen je nach Betrieb und Branche sehr unterschiedlichen Nutzungen unterliegen, kann eine genaue Analyse der Energieeinsparpotenziale nur durch eine ausführliche Begehung der Betriebe sowie der damit verbundenen, umfangreichen Datenerhebung erfolgen. Um dennoch die Effizienzsteigerung in dieser Verbrauchergruppe zu berücksichtigen, wird -nach Absprache mit dem Auftraggeber- angenommen, dass, bezogen auf den Ist-Zustand, bis zum Zieljahr 2040 jährlich

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

eingespart werden können. Mit dieser Zielstellung könnten bis zum Zieljahr 2040 der thermische Energiebedarf von 71.098 MWh pro Jahr im Ist-Zustand auf rund 53.352 MWh jährlich reduziert werden. Der Strombedarf könnte von 29.533 MWh/a auf 22.162 MWh/a reduziert werden. Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombedarf für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombedarf wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.2.4 Gebäudescharfes Sanierungskataster

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

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

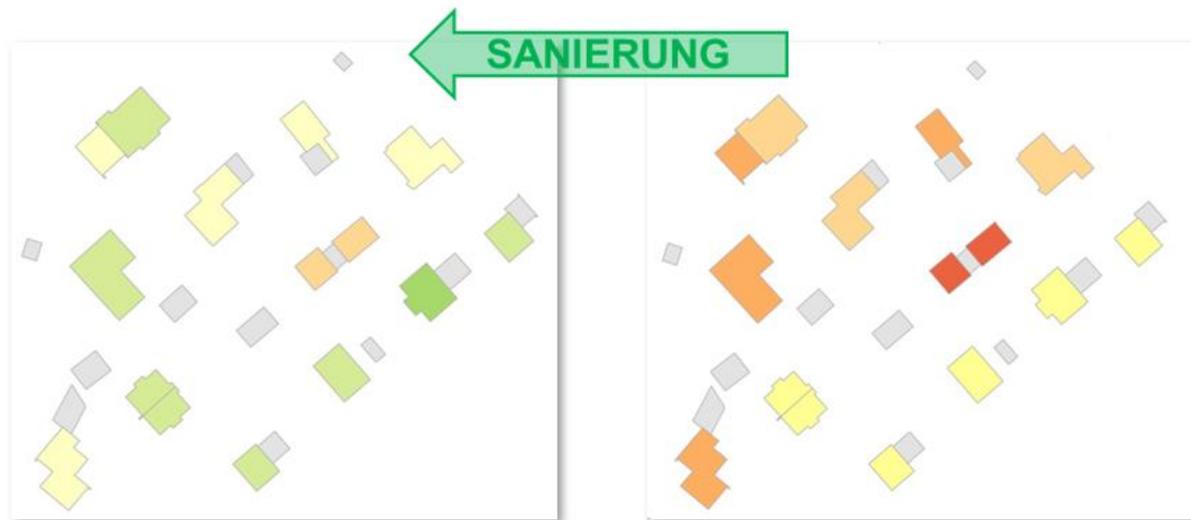


Abbildung 11: Anonymisierter Ausschnitt eines Sanierungskatasters vor und nach der Sanierung
(Szenario: 2 % Sanierungsrate bis zum Jahr 2040)

4.3 Transformationsprozesse

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

4.3.1 Elektrifizierung im Sektor Mobilität

Im Bereich Mobilität beinhaltet die Transformation eine entweder direkte Elektrifizierung der Antriebstechnologien (batterieelektrisch) oder eine Elektrifizierung der Antriebe über eine Zwischenstufe (z. B. Wasserstoff). In Anlehnung an die im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie e.V. erstellte Studie „Klimapfade für Deutschland“ [BDI, Berechnung IfE], wird für das Aufstellen eines möglichen Transformationsszenarios der Anteil batterieelektrischer und wasserstoffbetriebener Transportmittel auf in etwa 30 % im Jahr 2030 und auf rund 88 % im Jahr 2040 beziffert. Da elektrische Antriebe (gemäß Endenergiebedarf) energieeffizienter arbeiten als konventionelle Verbrennungsmotoren, geht mit dem Transformationsschritt auch eine direkte Energieeinsparung einher. So benötigt der Elektromotor im Vergleich nur noch rund ein Drittel dessen, was ein klassischer Benzin- oder Dieselmotor benötigt [Berechnung IfE]. Parallel dazu muss die dafür erforderliche elektrische Energie entweder unmittelbar aus erneuerbaren Stromquellen oder indirekt aus erneuerbaren Quellen mit einem Zwischenschritt (z. B. Wasserstoff) zur Verfügung gestellt werden. Der Strombedarf steigt also insgesamt an (siehe Abbildung 16).

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

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

Für das Zieljahr 2040 wird nach Abstimmung mit dem Auftraggeber der Anteil von Wärmepumpen/Power-to-heat-Lösungen auf 60 % des dann noch vorhandenen Wärmebedarfs festgelegt. Der zusätzliche erforderliche Strombedarf ist in Abbildung 16 dargestellt.

4.4 Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien

4.4.1 Potenzialbegriff

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

Das theoretische Potenzial

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

Das technische Potenzial

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

Das wirtschaftliche Potenzial

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

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

Hinweis zu Post-EEG-Anlagen:

Ab dem Jahr 2021 endete für die ersten EE-Anlagen der frühen 2000er-Jahre die EEG-Förderung. Dies setzt sich 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 Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb der Post-EEG-Anlagen geschaffen werden. → Es wird kein Rückbau von EE-Anlagen einkalkuliert.

4.4.2 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 großzügig verglaste Fassaden). Zum anderen kann die Sonnenstrahlung aktiv zur Energieerzeugung genutzt werden, in erster Linie zur Warmwasserbereitung (Solarthermie) und Stromerzeugung (Photovoltaik).

Zur Analyse der Photovoltaik- und Solarthermiefpotenziale auf Dachflächen wurde auf das gebäudescharfe Solarkataster der Stadt Windsbach zurückgegriffen. 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 Solarkataster dient als Basis der Potenzialanalyse für Solarthermie und Photovoltaik auf Dachflächen im Stadtgebiet Windsbach.

4.4.2.1 Solarthermie auf Dachflächen

Viele der für solare Nutzung geeigneten Dachflächen 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. Ausgehend von einem spezifischen Energiebedarf für die Brauchwassererwärmung von $12,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{WF}} \cdot \text{a}$ [EnEV] ergibt sich für das Betrachtungsgebiet ein jährlicher Gesamt-Energiebedarf von rund $2.327 \text{ MWh}_{\text{th}}$ für die Wassererwärmung.

Um dies zu erreichen, werden insgesamt rund 4.655 m^2 an Kollektorfläche benötigt. Diese Fläche wird im Rahmen des Energienutzungsplans gleichzeitig als technisches Potenzial der Solarthermie definiert. Derzeit sind im Betrachtungsgebiet bereits Solarthermieanlagen mit einer Gesamtfläche von rund 3.612 m^2 installiert, sodass noch ein Ausbaupotenzial von rund 1.042 m^2 besteht. Das Ausbaupotenzial für Solarthermie auf Dachflächen beträgt somit rund 702 MWh .

4.4.2.2 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 88.900 MWh/a . In Absprache mit den beteiligten Akteuren wurde ein Abzugsfaktor in Höhe von 40% gewählt, welcher potenzielle Hemmnisse in der praktischen Umsetzung (z. B. aus statischen Gründen) berücksichtigt, woraus sich ein technisches Gesamtpotenzial in Höhe von 53.300 MWh/a ergibt. Für das Energieszenario bis zum Jahr 2040 wird davon ausgegangen, dass rund 50% dieses technischen Gesamtpotenzials genutzt werden. Dies entspricht einer jährlichen Stromproduktion in Höhe von rund 26.700 MWh pro Jahr.

4.4.3 Photovoltaik auf Freiflächen

Als Basis für die Ermittlung der Potenziale innerhalb des Energienutzungsplans, wurde ein standardisierter Kriterienkatalog des IfE herangezogen, dessen Auszug nachfolgend dargestellt ist.

Zonierung	Soll die Installation von PV-Anlagen in diesem Gebiet möglich sein?		Kriterien
	Ja	Nein	
Schutzzone		x	Nationalparke, Naturschutzgebiete, Nationale Naturmonumente, Naturdenkmale
		x	Schutzgebiete zur Erhaltung gefährdeter oder typischer Lebensräume und Arten (Natura 2000): Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete
		x	Amtlich kartierte Biotope gemäß §30BNatSchG und Art. 23 BayNatSchG
		x	Wiesenbrüter- und Feldvogelkulisse: Flächen, die von Wiesenbrütern oder Feldvögeln als Lebensräume genutzt werden
		x	Festgesetzte oder vorläufige Überschwemmungsgebiete und Hochwasserschutzgebiete
		x	Risikobehaftete Gebiete für Geogefahren (LfU): Dolinen, Erdfälle, Steinerschlag, Erdbeben, Senkungsgebiete etc.
		x	Biosphärenreservate
		x	RAMSAR Gebiete
		x	geschützte Landschaftsbestandteile
		x	Vorrang Windkraft
Zonierung	Soll die Installation von PV-Anlagen in diesem Gebiet möglich sein?		Kriterien
	Ja	Nein	
Ausschlusszone		x	Wälder und Gehölze
		x	SU (Sümpfe, Unland/Vegetationslose Fläche)
		x	Wege
		x	Siedlungsgebiete
		x	Gewässer
		x	Straßenverkehr

		x	Bahnverkehr/Schienenwege
		x	Nutzflächen/Bebaute Flächen
		x	Autobahnen
		x	Moorböden
Zonierung	Soll die Installation von PV-Anlagen in diesem Gebiet möglich sein?		Kriterien
	Ja	Nein	
privilegierte/geförderte Zone	x		bestehendes/ausgeschriebenes Solarenergiegebiet
	x		Flächen in unmittelbarer Nähe zu Autobahnen und 2-gleisigen Schienenwegen
		x	Schutzzone
		x	Ausschlusszone (o. Siedlungsgebiete)
		x	Siedlungsgebiete
			EEG geförderte Flächen entlang Autobahnen

Abbildung 12: Standardisierter Kriterienkatalog

Darauf basierend wurde innerhalb des Energienutzungsplans eine GIS-Analyse erstellt, woraus sich eine potenziell geeignete Gesamtfläche von 1.778 ha und eine privilegierte Fläche von 1 ha entlang der Autobahn ergibt. In Abbildung 13 sind die potenziell geeigneten Flächen (gelbe Flächen), sowie die ermittelten privilegierten Flächen entlang der Bundesautobahn 6 dargestellt. Im Bilanzjahr 2021 wurde keine elektrische Energie aus Freiflächen-Photovoltaik in der Stadt Windsbach ins Netz eingespeist.

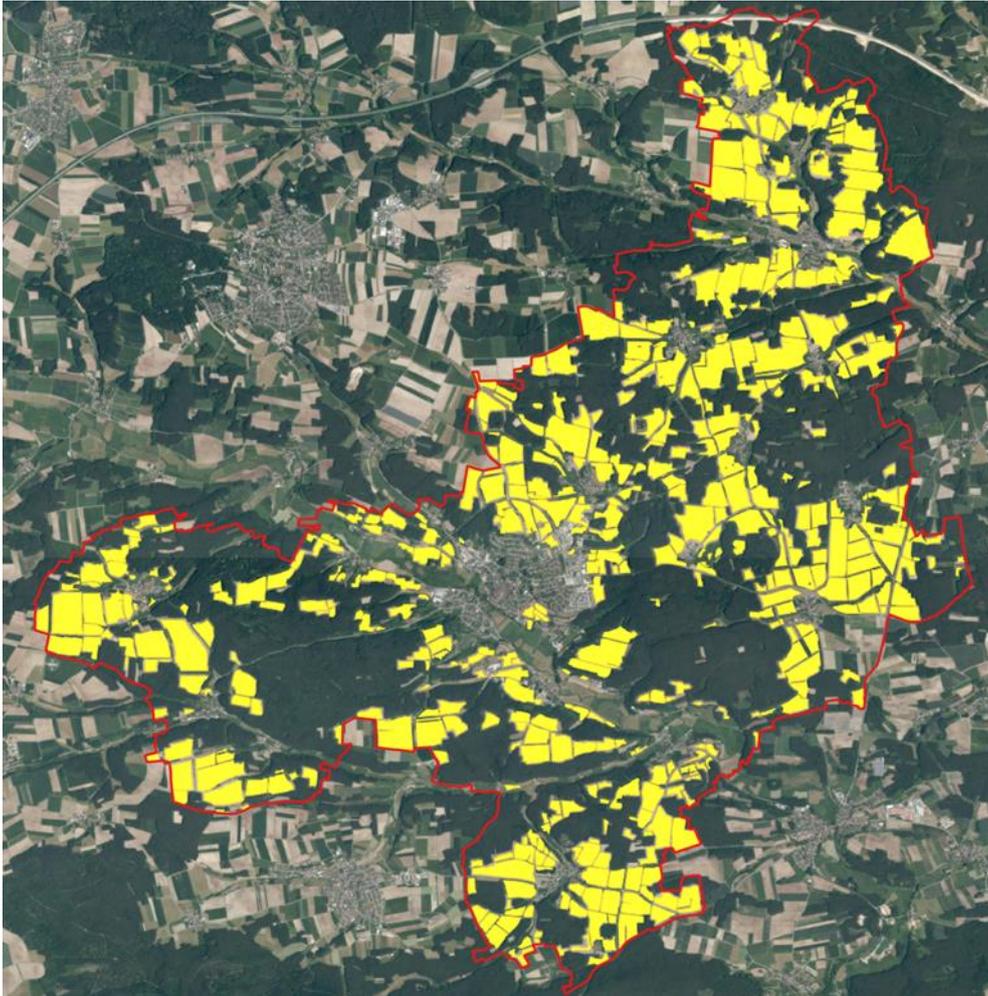


Abbildung 13: Ergebnis der Potenzialanalyse der Photovoltaik-Freiflächen im Betrachtungsgebiet mit einer Gesamtfläche von 1.179 ha (gelbe Flächen).

Auf Basis der Gesamtanalyse wurden die drei folgenden Ausbauszenarien hinsichtlich Freiflächen-Photovoltaik angenommen, die in das Energieszenario 2040 in Kapitel 5 integriert werden:

Szenario 1: kein Ausbau

Szenario 2: 1 % der landwirtschaftlichen Fläche (rund 34 ha)

Szenario 3: 2 % der landwirtschaftlichen Fläche (rund 68 ha)

Die Erschließung von einem Prozent der landwirtschaftlichen Fläche für Freiflächen-Photovoltaikanlagen würde einen jährlichen zusätzlichen Stromertrag von rund 34.000 MWh bedeuten, wie es in Szenario 2 der Fall wäre. Analog dazu würden in Szenario 3 rund 68.000 MWh an regenerativen Strom erzeugt werden.

4.4.4 Windkraft

Das „Wind-an-Land-Gesetz“ weist Quoten für die einzelnen Bundesländer auf, welcher prozentuale Anteil der Landesfläche für die Errichtung von Windkraftanlagen auszuweisen sind. Für Bayern lauten diese 1,1 Prozent der Landesfläche bis 2027 und 1,8 Prozent der Fläche bis Ende 2032. Zuständig hierfür sind die 18 regionalen Planungsverbände in Bayern. Sollten diese Ziele nicht erreicht werden, hält sich der Bund eine vollständige Privilegierung von Windkraftanlagen nach dem Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG) vor, woraus je nach regionalen Gegebenheiten bereits mit einem Mindestabstand von rund 800 m zu Siedlungsflächen möglich wäre.

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 Gemeindegebiet Windsbach eine deutlich größere Gebietskulisse für die Windenergie, die es im nächsten Schritt zu analysieren gilt.

Aktuell sind im Stadtgebiet Windsbach drei Windkraftanlagen mit jeweils 2,4 MW Leistung installiert. Im Rahmen des ENP wurde zunächst ein Windkraftscreening für das gesamte Gemeindegebiet Windsbach durchgeführt. Im ersten Schritt wurde hierfür die Standortgüte analysiert, welche ein normierter Wert für die Windhöflichkeit für Windkraftanlagen in Relation zu einer fiktiven Windenergieanlage ist. Im nächsten Schritt wurden die gültigen Kriterien der Bayerischen Bauordnung (z.B. neue Abstandsregelungen) sowie allgemein bekannte Restriktionen (z.B. Naturschutzgebiete) in das GIS überführt und analysiert. Diese erste technische Analyse der Windkraftpotentiale hat dabei dementsprechende Gebiete ergeben, die sich aus technischer Sicht eignen könnten und kumuliert eine Gesamtfläche von rund 700 ha ergeben (siehe Abbildung 14). Es ist wichtig zu erwähnen, dass während der Konzepterstellung die Gebietskulisse für Windkraft vom regionalen Planungsverband überarbeitet wurde, die auf Basis eines eigenen Kriterienkatalogs potenzielle Flächen für Windkraft bewertet und den Kommunen vorschlägt. Dementsprechend können sich die Potentialgebiete für Windkraftanlagen noch verändern.

Auf Basis der potentiell verfügbaren Flächen für Windkraft, wurden in Abstimmung mit den Akteuren vor Ort drei verschiedene Ausbauszenarien angenommen:

Szenario 1: kein weiterer Ausbau der Windkraft

Szenario 2: 2 zusätzliche Windkraftanlagen

Szenario 3: 5 zusätzliche Windkraftanlagen

Dabei wird pro Windkraftanlage eine Nennleistung von 5 MW mit je 2000 Vollbenutzungsstunden angenommen. Somit würde mit jeder weiteren Windkraftanlage ein zusätzlicher jährlicher Stromertrag von rund 10.000 MWh aus regenerativen Energieformen resultieren. Auf die Auswirkungen eines Windkraft-Ausbaus auf die energetische Gesamtbilanz wird in Kapitel 5 zum Energieszenario 2040 eingegangen.

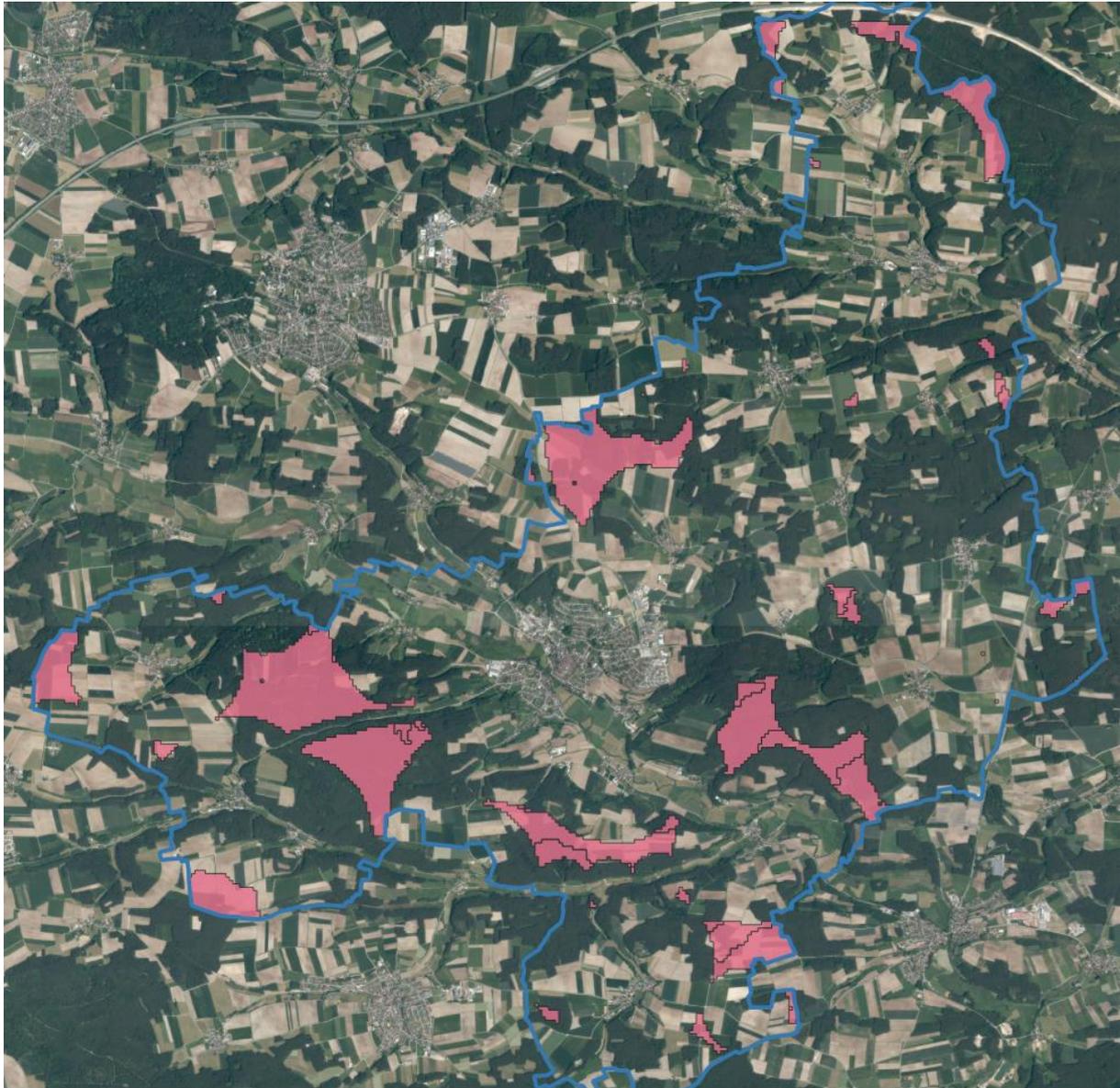


Abbildung 14: Ergebnis der GIS-Analyse der potenziellen Flächen für Windkraftanlagen mit insgesamt rund 700 ha.

4.4.5 Biomasse

4.4.5.1 Holz für energetische Nutzung

Die Stadt Windsbach weist eine Waldfläche von rund 2.524 ha auf. [Statistik kommunal Bayern]. Im Zuge der Berechnung des Gesamtwärmebedarfs aus Biomasse und der Auswertung der Fragebögen der Industrie- und Gewerbebetriebe kann festgestellt werden, dass im Jahr 2021 in etwa 49.300 MWh thermische Endenergie aus holzartiger Biomasse bereitgestellt wurden (vergleiche Kapitel 3.3.2).

Zur Analyse des technischen Gesamtpotenzials an Holz für die energetische Nutzung wurde die Expertise des zuständigen Amtes für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten hinzugezogen.

Folgende wesentliche Ergebnisse wurden mit den Fachexperten abgestimmt:

- Es wird davon ausgegangen, dass der Schadholzanteil vor allem von Nadelbäumen kurz- bis mittelfristig zunehmen wird, danach aber wieder abnehmen wird.
- Insbesondere im Privatwald wird noch Potenzial zur energetischen Holznutzung gesehen. → Hier wird dringend ein Waldumbau in Zusammenarbeit mit den zuständigen Forstämtern empfohlen. Als Anreiz stehen aktuell Fördermittel zur Pflanzenbeschaffung zur Verfügung.
- Waldbestände verändern sich generell aufgrund der klimatischen Einwirkungen → Wälder werden jünger und Baumartenspektrum verändert sich hin zu mehr Laubholz, wodurch geringere Vorräte zur energetischen Nutzung einhergehen.

Aus der Abstimmung mit den regionalen Fachexperten ergeben sich im Rahmen des Energienutzungsplans hinsichtlich der energetischen Nutzung von Holz keine weiteren Potenziale im Vergleich zum Ist-Zustand. Trotz erhöhtem Schadholzanteil in der Zukunft, wird aufgrund der großen Schwankungsbreite bezüglich Menge und zeitlichem Anfall dieser Schadholzanteil nicht in die Potentialberechnung miteinbezogen. Beim Erschließen weiterer Holzpotenziale sollte auf einen ressourcenschonenden und effizienten Einsatz des Energieholzes in sinnvolle Versorgungsstrukturen (z.B. Kombination aus Hack-schnitzelkessel und Wärmepumpe) geachtet werden.

4.4.5.2 Biogasanlagen / Kraft-Wärme-Kopplung

Die Potenzialanalyse zur Energieerzeugung mittels Biogas-KWK-Anlagen war nicht Bestandteil des ENP. Für die Entwicklung eines Energieszenarios 2040 wurde der Sektor Biogas-KWK dennoch im Gesamtkontext mit betrachtet.

Im Ist-Zustand erzeugen die Biomasse-KWK-Anlagen in der Stadt Windsbach jährlich rund 18.280 MWh an elektrischer Energie. Aus der Datenerhebung der Fragebögen zu den Biogasanlagen ergab sich insgesamt eine Abwärmenutzung von rund 3.100.000 kWh.

Um ein gewisses Potenzial im Rahmen dieses ENP ansetzen zu können, wird davon ausgegangen, dass die Stromerzeugung aus Biomasse-KWK bis zum Jahr 2040 konstant bleibt. Bei der Abwärmenutzung wird davon ausgegangen, dass ein Ausbau auf rund 9.000 MWh erfolgt (ca. 50 % der gesamt anfallenden Abwärme der Biogasanlagen).

Die gesteigerte Abwärmenutzung kann insbesondere in Wärmenetzen einen wertvollen Beitrag leisten und dazu beitragen, fossile Energieträger wie Öl und Gas zu ersetzen. Der Weiterbetrieb von Biogasanlagen ist im Kontext des erneuerbaren Energiemix' von großer Bedeutung, da sie 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 großer Bedeutung für die Stabilität des zukünftigen Energiesystems. Auch die mögliche Umstellung des Biogasbetriebs auf Methanisierung mit z. B. Einspeisung in das Erdgasnetz sollte im Kontext der politischen und energiewirtschaftlichen Entwicklung weiter verfolgt werden.

4.4.6 Geothermie

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

Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Geothermienutzung:

- oberflächennahe Geothermie bis ca. 400 Meter Tiefe zur Wärme- und 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 400 Metern Tiefe. Durch Sonden oder Erdwärmekollektoren wird dem Erdreich Wärme auf niedrigem

Temperaturniveau entzogen und diese Wärme mithilfe von Wärmepumpen und dem Einsatz elektrischer Energie auf eine für die Beheizung von Gebäuden nutzbare Temperatur angehoben.

Potenzialermittlung oberflächennahe Geothermie

Zur Ermittlung der Potenziale oberflächennaher Geothermie wurde auf hydrogeologische Daten des Geologischen Dienstes des Landesamtes für Umwelt zurückgegriffen. In Abbildung 15 ist die Standortteignung für oberflächennahe Geothermie im Stadtgebiet Windsbach dargestellt [LfU Bayern]. Es zeigt sich, dass viele Gebiete grundsätzlich für die Nutzung oberflächennaher Geothermie geeignet erscheinen. Der Großteil des Stadtgebiets ist grundsätzlich für die Nutzung von Erdwärmekollektoren, -sonden und Grundwasserwärmepumpen geeignet. Lediglich in den südlichen Teilen des Betrachtungsgebiets wird eine Nutzung der oberflächennahen Erdwärme flächendeckend und kategorisch ausgeschlossen. *(Wichtig: Die Übersicht dient lediglich als Erstinformation. Die Umsetzung einer Anlage mit Nutzung oberflächennaher Geothermie bedarf zwingend einer detaillierten Einzelfalluntersuchung).*

Zur Veranschaulichung wurde zusätzlich die in Abbildung 2 vorgestellte Wärmedichtedarstellung in Abbildung 15 aufgenommen. Dies zeigt, dass in Gebieten mit hohem Wärmebedarf eine Nutzung der Erdwärme möglich ist. Dort kann die Installation von Erdwärme-Wärmepumpen zur Deckung des hohen Energiebedarfs geprüft werden. Neben der hydrologischen Eignung und den bohrrechtlichen Rahmenbedingungen sind jedoch zudem der energetische Zustand des Gebäudes sowie das im Gebäude zum Einsatz kommende Wärmeabgabesystem ausschlaggebend für die Nutzung oberflächennaher Geothermie. Hinzu kommen noch andere Einflussfaktoren wie zum Beispiel die Beeinflussung anderer Anlagen auf den Nachbargrundstücken. Deshalb wurde auf die Ausweisung bzw. Quantifizierung eines Gesamtausbaupotenzials verzichtet, da für den Einsatz oberflächennaher Geothermie immer eine Einzelfallprüfung auf Basis der tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort notwendig ist.

Geothermie ist eine Form der Umweltwärme, die für den Betrieb von Wärmepumpen genutzt werden kann. Der Einsatz von Wärmepumpen kann künftig einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen leisten, wenn der für den Betrieb der Wärmepumpen notwendige Stromeinsatz aus regenerativen Energieformen erfolgt. Aus diesem Grund ist der weitere Ausbau der regenerativen Stromerzeugung wichtig, um diese Stromüberschüsse durch den Einsatz von Wärmepumpen regional nutzen zu können und den Bedarf an Heizöl und Erdgas zu mindern (Sektorenkopplung Power-to-Heat siehe Abbildung 16). Der weitere Ausbau von Wärmepumpensystemen könnte z. B. über Informationskampagnen forciert werden.

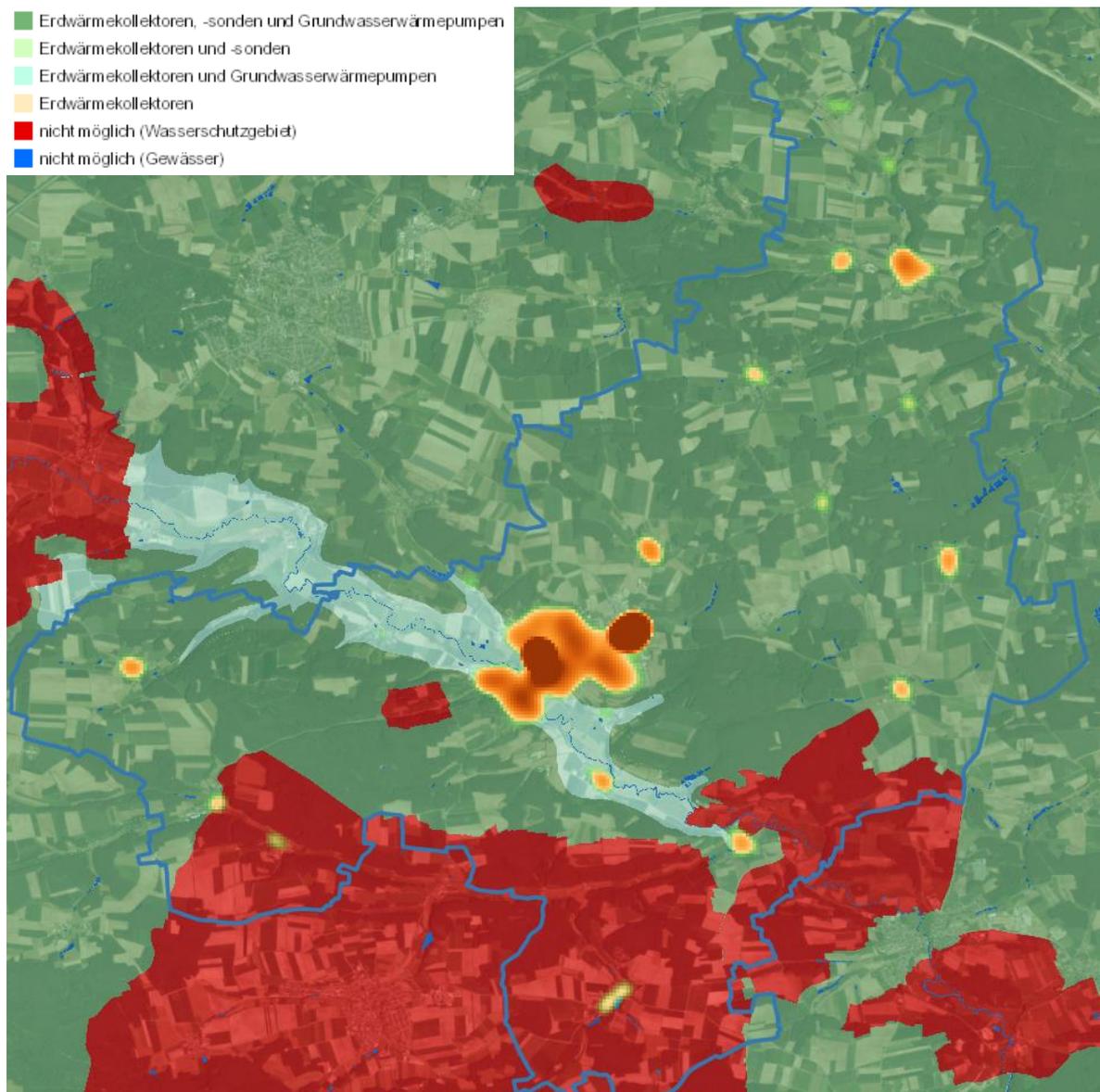


Abbildung 15: Standorteignung oberflächennahe Geothermie mit einer Darstellung des thermischen Energiebedarfs in Form einer Heatmap (Energieatlas Bayern; eigene Bearbeitung)

5 Energieszenario 2040 - Zusammenfassung der Potenzialanalyse

Basierend auf der Analyse der energetischen Ausgangssituation (siehe Kapitel 3) und der Potenzialanalysen (siehe Kapitel 4) wurden strategische Szenarien für Strom, Wärme und Mobilität erarbeitet, aus denen Handlungsoptionen und der Entwicklungspfad zur Senkung des Energieverbrauchs und für den Ausbau erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2040 abgeleitet werden können. Das Energieszenario 2040 stellt zugleich die Zusammenfassung der Ergebnisse aus den vorangegangenen Kapiteln dar. Anhand der Analyse und Zielsetzung können konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Abbildung 16 zeigt die Energiebedarfs-Seite sowie die Auswirkung der in Kapitel 4 geschilderten Einspar- und Transformationsprozesse vom Ist-Zustand im Jahr 2021 (linker Balken) über das Jahr 2030 (mittlerer Balken) bis hin zum Zieljahr 2040 (rechter Balken). Die resultierende Einsparung basiert zum einen auf den berechneten Energieeinsparpotenzialen (z. B. durch Gebäudesanierungen) und zum anderen auf den beschriebenen Transformationsprozessen (E-Mobilität, Power-to-Heat). Durch die verstärkte Elektrifizierung der Sektoren steigt jedoch der künftige Strombedarf (wertvollste Energieform!).

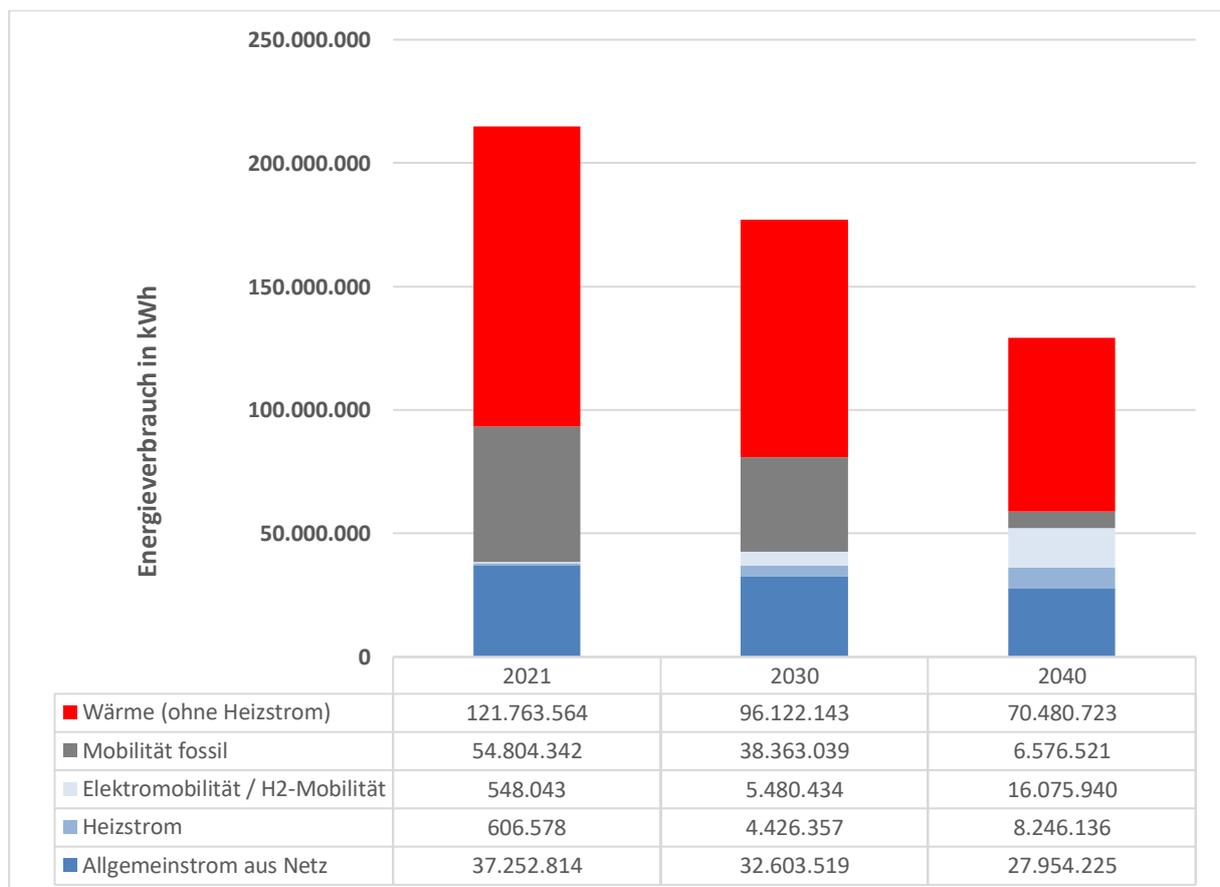


Abbildung 16: Energieszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung

5.1 Szenario 1

Zum Erreichen einer bilanziellen Eigenversorgung aus regenerativen Energien bis zum Jahr 2040 gilt es, den aufgezeigten Bedarf im Jahr 2040 vollständig durch Erschließung der Potenziale zu decken. In Abbildung 17 ist dementsprechend der Ausbau der in Kapitel 4 ermittelten Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien dargestellt. Es ist ersichtlich, dass, gemäß diesem Entwicklungsszenario, eine Zunahme von rund 92.800 MWh im Ist-Zustand auf rund 118.895 MWh im Jahr 2040 erfolgen würde. Dies ist hauptsächlich auf den verstärkten Einsatz von PV-Aufdachanlagen sowie die verstärkte thermische Nutzung von Biogasabwärme und der Solarthermie zurückzuführen. Bei diesem Szenario wird vollständig auf den Bau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen und weiterer Windkraftanlagen verzichtet.

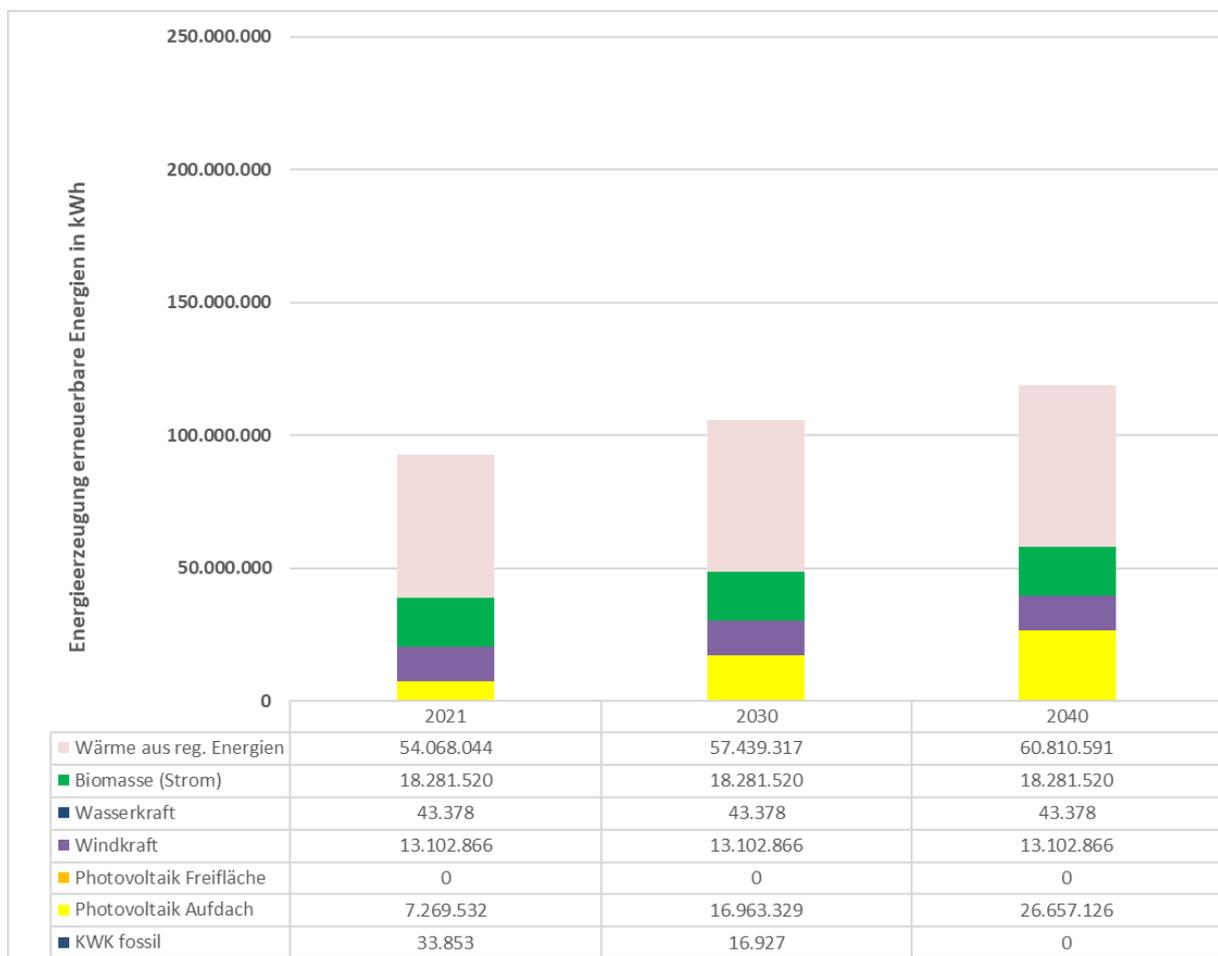


Abbildung 17: Energieszenario 2021 bis 2040 - Ausbauszenario erneuerbarer Energien im Strombereich

Den Bedarf (Abbildung 16) und die Erzeugung (Abbildung 17) im Jahr 2040 herausgegriffen und gegenübergestellt, ergibt sich das in Abbildung 18 dargestellte Verhältnis aus den jeweiligen Verbrauchssektoren und den regenerativ, regional bereitgestellten erneuerbaren Energie-Mengen. Unter der Annahme, dass Überschussstrom zusätzlich zur Wärmebereitstellung genutzt wird und das Potenzial an erneuerbaren Energien (rechte Säule) vollständig ausgeschöpft wird, ergibt sich eine bilanzielle Deckung des Energieverbrauchs (linke Säule) von rund 92 %.

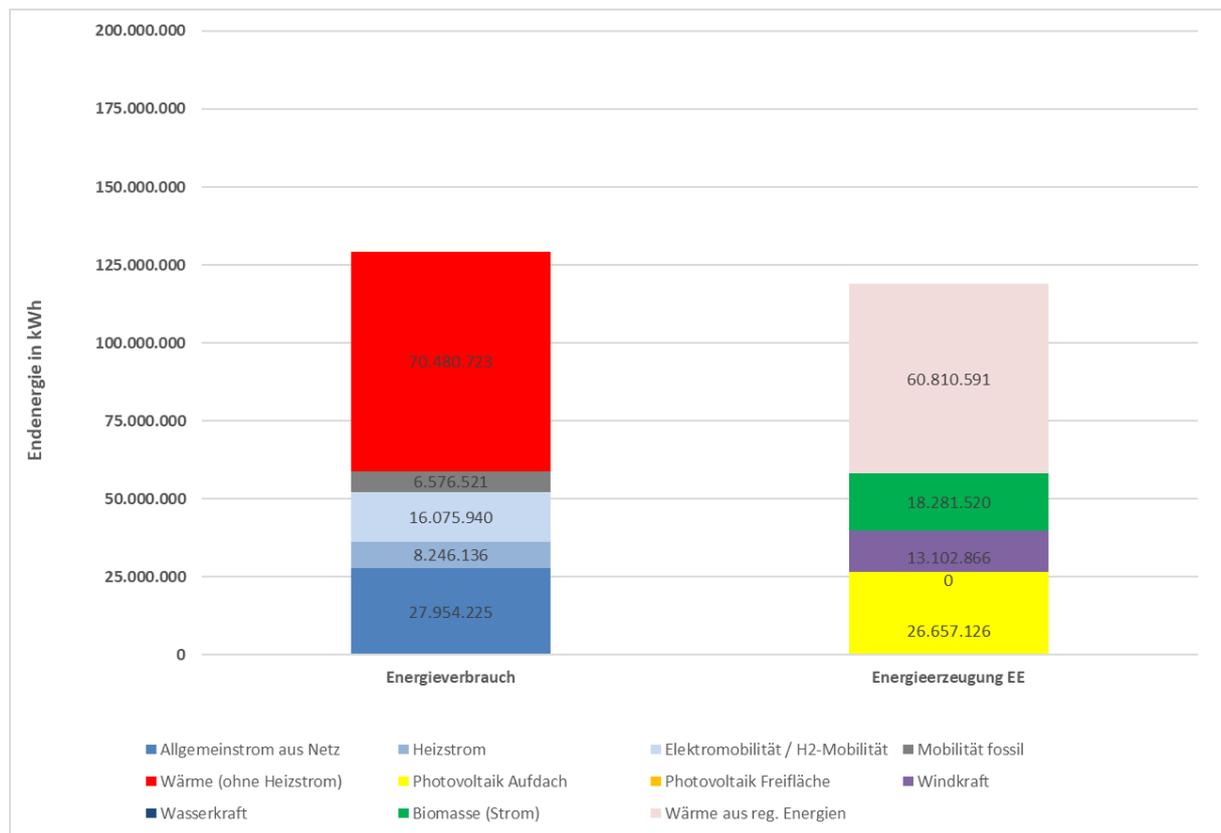


Abbildung 18: Energieszenario im Jahr 2040 – Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energien

Die Abbildung 18 verdeutlicht, dass im Jahr 2040 der Energiebedarf nicht vollständig gedeckt werden kann, wenn auf den Bau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen oder weiterer Windkraftanlagen verzichtet wird. Deshalb werden im Folgenden zwei weitere Szenarien vorgestellt, mit denen der zukünftige Energiebedarf bilanziell gedeckt werden kann.

5.2 Szenario 2

Im folgenden Vergleich wird ein Ausbauszenario vorgestellt, das die Auswirkungen einer zusätzlichen Installation von zwei Windkraftanlagen mit jeweils 5 MW elektrischer Leistung und 2000 Vollbenutzungsstunden sowie die Installation von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf 1 % der landwirtschaftlichen Fläche im Jahr auf die Gesamtenergiebilanz in Windsbach untersucht. Die Potenziale von Photovoltaik, Wasserkraft und Biomasse bleiben dabei unverändert. Durch die Installation der beiden zusätzlichen Windkraftanlagen könnte eine zusätzliche elektrische Energiemenge von etwa 20.000 MWh im Betrachtungsgebiet erzeugt werden. Die Nutzung von 1 % der landwirtschaftlichen Fläche für die Photovoltaik-Freiflächenanlagen würde eine Fläche von knapp 34 Hektar in Anspruch nehmen, was zu einem jährlichen Stromertrag von etwa 34.000 MWh führen würde. Durch diesen moderaten Ausbau an zusätzlichen Energieerzeugungsanlagen würde der Energiebedarf zu etwa 134 % bilanziell gedeckt werden (siehe Abbildung 19).

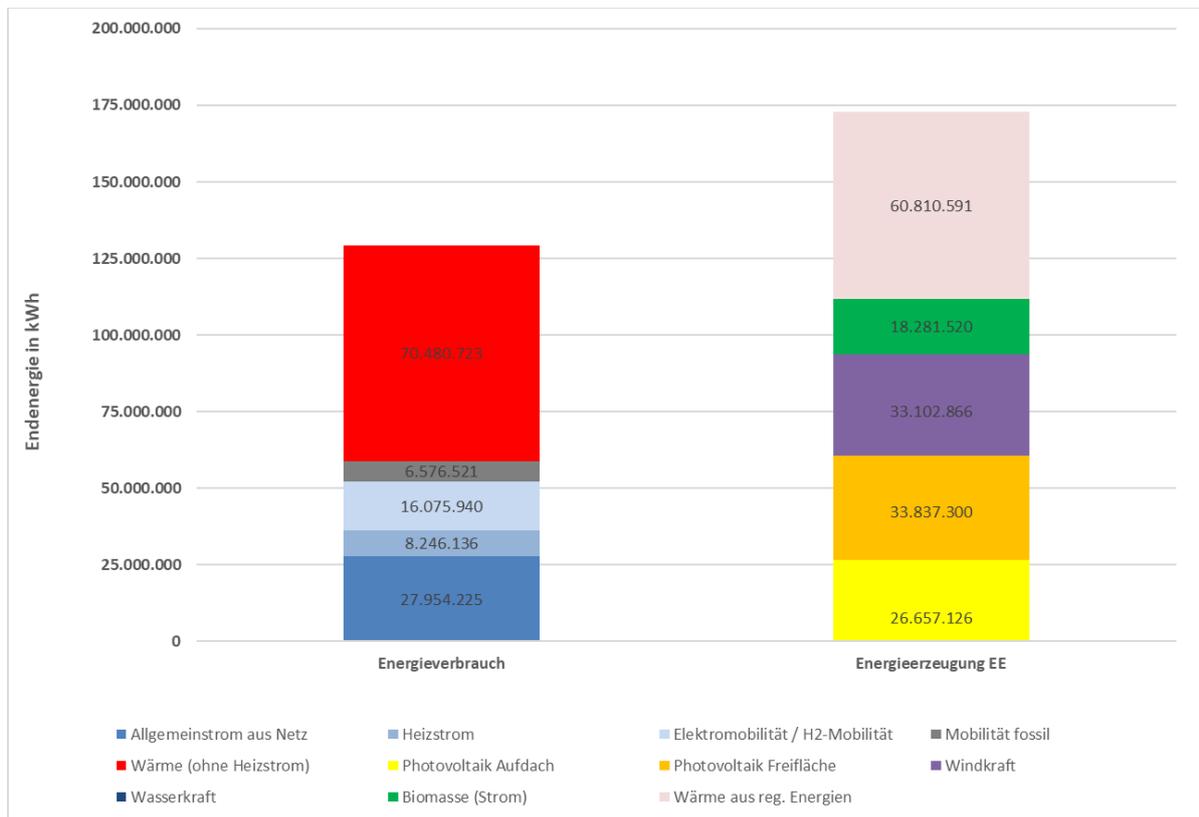


Abbildung 19: Energieszenario 2040 - Resultat eines Szenarios mit zusätzlich zwei Windkraftanlagen und Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf rund 34 ha.

5.3 Szenario 3

Szenario 3 beinhaltet die Nutzung von 2 % der landwirtschaftlichen Fläche für Photovoltaik-Freiflächenanlagen sowie die Installation von fünf zusätzlichen Windkraftanlagen. Bei dieser Zusammensetzung würde die Fläche für die Photovoltaik-Freiflächenanlagen etwa 68 ha betragen, was zu einem jährlichen Stromertrag von ungefähr 68.000 MWh führen würde. Die fünf zusätzlichen Windkraftanlagen würden eine zusätzliche elektrische Energiemenge von etwa 50.000 MWh im Betrachtungsgebiet erzeugen. Insgesamt würde durch diese Maßnahmen der Energiebedarf voraussichtlich um rund 183 % gedeckt werden, wie in Abbildung 20 veranschaulicht.

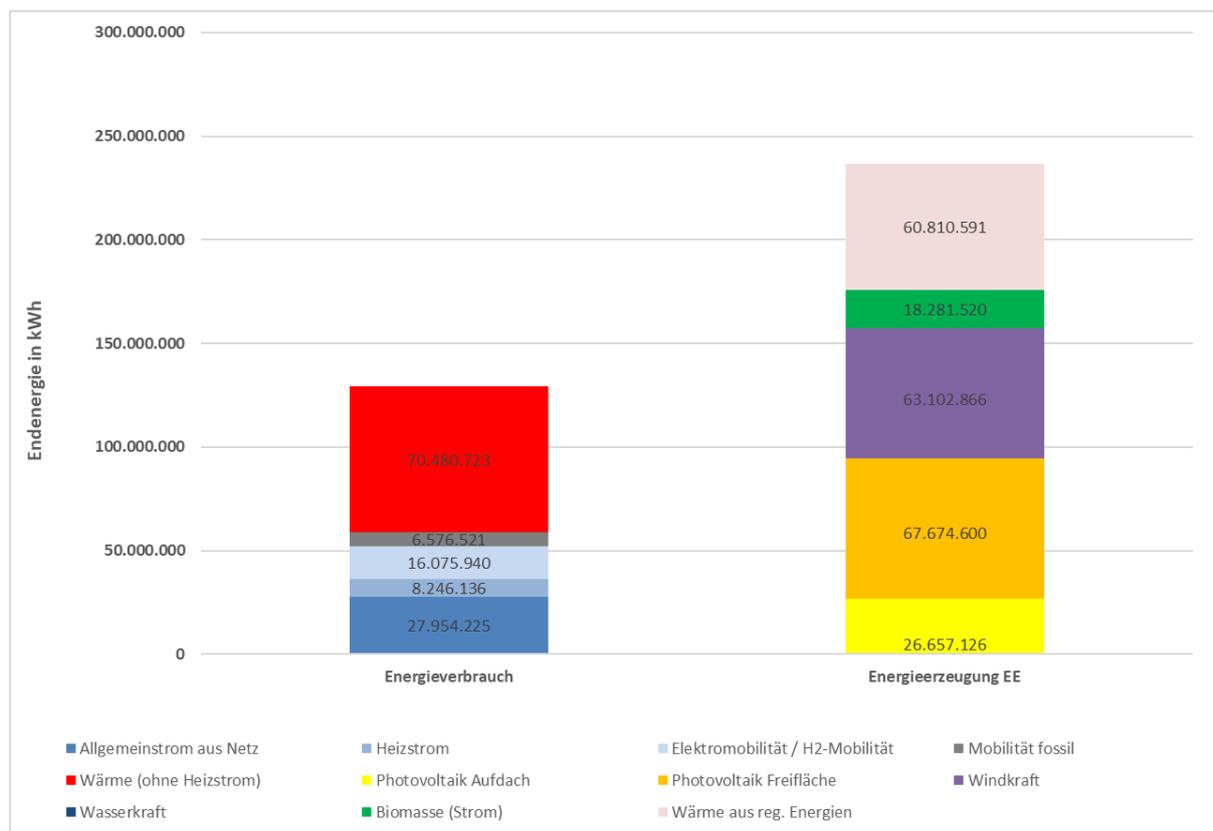


Abbildung 20: Energieszenario 2040 - Resultat eines Szenarios mit zusätzlich fünf Windkraftanlagen und Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf rund 68 ha.

Grundsätzlich verfolgt der Energienutzungsplan das Ziel, einen Entwicklungspfad aufzuzeigen, der zur vollständigen Bilanzdeckung des Energiebedarfs führt. Die Szenarien verdeutlichen, dass die Stadt Windsbach dieses Ziel deutlich übertreffen kann, wenn dementsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Generell gilt, dass ländlichere Kommunen in der Regel mehr Potenziale aufweisen und ihnen dadurch eine immer größer werdende Bedeutung zukommt. Dieser können beispielsweise Großstädte aufgrund der Infrastruktur in diesem Bezug nicht gerecht werden, weshalb es wichtig ist, dass ländlichere Kommunen die großen Ballungszentren in Zukunft zum Teil mitversorgen.

Hinweise:

- *Es muss erwähnt werden, dass es sich hierbei um eine rein bilanzielle Betrachtung handelt, keine Autarkiebetrachtung. Der tatsächliche Autarkiegrad könnte jedoch auf verschiedene Wege erhöht werden. So ist es ggf. möglich, Verbraucher nach der aktuellen Erzeugung auszurichten, bspw. wenn ein hohes Angebot an Sonne und Wind vorliegt (Lastmanagement). Alternativ können verschiedene Formen von Stromspeichern dazu dienen, Überkapazitäten zu puffern und bei Bedarf freizugeben. Darüber hinaus wäre ein Speichern von Strom über Zwischenstufen (wie z. B. das Medium Wasserstoff) denkbar.*
- *Der Ausbau erneuerbarer Energien ist stark von den Möglichkeiten zur Einspeisung des Stroms in die Netze abhängig. Insbesondere auf der Mittelspannungs- und Hochspannungsebene zeigen sich häufig Kapazitätsengpässe, die den zügigen Ausbau erneuerbarer Energien verzögern.*

6 Maßnahmenkatalog

Nachfolgend ist der Maßnahmenkatalog für die Stadt Windsbach dargestellt. Zusätzlich zu den einzelnen Maßnahmen werden sie anhand zweier Kriterien kategorisiert: Machbarkeit und Wirksamkeit. Die Machbarkeit gibt Aufschluss darüber, mit welchem Aufwand die Umsetzung der Maßnahme verbunden ist, während die Wirksamkeit die Auswirkungen der Maßnahme auf die Reduzierung von Treibhausgasemissionen beschreibt. Diese Kriterien werden auf einer Skala von eins bis fünf bewertet, wobei 1 für „niedrig“ steht und 5 für „hoch“. Die zugewiesenen Werte dienen lediglich als Richtwerte, die auf Erfahrungswerten beruhen, um eine Priorisierung der Maßnahmen zu erleichtern.

Nr.	Machbarkeit	Wirksamkeit	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	3	4	Aufbau neuer Wärmeverbundlösungen	<p>Das gebäudescharfe Wärmekataster zeigt Areale im Stadtgebiet mit erhöhter Wärmebedarfsdichte auf. Dies stellt einen ersten Indikator für sinnvoll erschließbare Bereiche über Wärmenetze dar. Einzelne Projekte zur Erschließung eines Fernwärmenetzes wurden im Rahmen des Energienutzungsplans ausgearbeitet (Bereich: Altstadt, Vorstadt). Insbesondere der Bereich Altstadt hat sich hierbei in erster Betrachtung als sinnvolles Wärmenetzgebiet gezeigt. Es wird empfohlen, für dieses Gebiet eine Machbarkeitsstudie über die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze entwickeln zu lassen.</p> <p>Aus der Datenerhebung zeigten sich zudem auch Abwärmepotentiale in der Industrie. Hierbei sollte geprüft werden, ob und wie die Abwärme in möglichen Wärmenetzen genutzt werden könnte. Im ersten Schritt könnte ein Gespräch mit den jeweiligen Unternehmen stattfinden, um entsprechende Potenziale zu konkretisieren, um im nächsten Schritt ein detailliertes Konzept für die Maßnahme auszuarbeiten.</p>	Stadtwerke / Kommune
2	4	2	Prüfung zum Aufbau von Nachbarschafts-Wärmeverbundlösungen	Ergänzend zur Prüfung von Möglichkeiten zum Aufbau von "größeren" Wärmeverbundlösungen, könnte der Aufbau von kleinen Nachbarschafts-Wärmeverbundlösungen (insbesondere in Ortsteilen) eine Möglichkeit zur Minderung des fossilen Energiebedarfs darstellen. Hierunter ist der Aufbau von Wärmeverbundlösungen zwischen wenigen Gebäuden in einem begrenzten Gebietsumfang zu verstehen, die von einer Heizzentrale aus (z. B. bestehende Scheune) mit Nahwärme versorgt werden	Kommune / Interessenten
3	4	3	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und hocheffizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	<p>Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem hocheffizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen hocheffizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte z. B. auch bei Lüftungsanlagen, Beleuchtung, Pumpen etc. auf einen hohen energetischen Standard geachtet werden. Für eine neutrale Beurteilung von energetischen Maßnahmen ist das kommunale Energiemanagement durch einen externen Dienstleister auch in der Zukunft wichtig. Alle gut für Photovoltaik nutzbaren Dächer sollten belegt werden und wo sinnvoll auch mit Batteriespeichern ergänzt werden.</p> <p>Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Zum Beispiel wird die Prüfung von Energieeinsparungen und Effizienzsteigerungen für folgende Liegenschaften empfohlen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bauhof Windsbach - Kindergarten Veitsaurach - Rathaus Windsbach 	Kommune

4	5	3	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	<p>Da noch auf mehreren kommunalen Liegenschaften grundsätzlich freie Dachflächen zur PV-Nutzung vorhanden sind, sollten alle Gebäude einer allgemeinen Prüfung für die Installation einer PV-Anlage unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, die Möglichkeit einer PV-Anlage geprüft werden.</p> <p>Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grund- und Mittelschule - Kindergarten Muki - Kläranlage Windsbach (PV-Freifläche) - Rentamt / Musikschule Windsbach - Doppelturnhalle 	Kommune
5	5	3	Weiterbetrieb der bestehenden Photovoltaikanlagen auf Bauhof und Schule	<p>Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden die beiden Bestandsanlagen auf dem Bauhof und der Grund- und Mittelschule hinsichtlich eines technischen und wirtschaftlichen Weiterbetriebs untersucht. Aufgrund des erhöhten Strombedarfs kann die Umstellung der beiden derzeit voll einspeisenden Anlagen auf Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung empfohlen werden.</p>	Kommune
6	2	5	Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Freiflächen-Photovoltaik	<p>Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden potenzielle Flächen für Freiflächen-PV-Anlagen anhand eines standardisierten Kriterienkatalogs identifiziert. Im nächsten Schritt sollte der Kriterienkatalog mit den relevanten Akteuren nachgeschärft und darauf basierend eine konkrete Strategie zum Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik ausgearbeitet werden.</p>	Kommune / Stadtwerke / Interessenten
7	2	1	Photovoltaikanlagen auf Parkplatzflächen	<p>Dem Nutzen bereits versiegelter Flächen, wie z. B. Parkplätzen an Supermärkten kommt eine stetig wachsende Bedeutung zu. Meist sind die Systemkosten zwar teurer als beim Installieren einer klassischen Freiflächen- oder Dachanlage, dennoch kann dies gerade in Verbindung mit Eigenstromnutzung und hohen Stromeinkaufspreisen eine wirtschaftlich sinnvolle Konstellation ergeben. Möglichkeiten hierzu sollten geprüft werden.</p>	Kommune / Stadtwerke / Interessenten
8	2	4	Prüfung verschiedener Möglichkeiten zum Aufbau einer Gesellschafts- / Beteiligungsstruktur zur Umsetzung von Maßnahmen im Bereich erneuerbare Energien schaffen	<p>Der Energienutzungsplan zeigt eine Vielzahl potenzieller Projektideen zum Ausbau regionaler erneuerbarer Energien auf. Die Stadt Windsbach legt Wert darauf, dass die Umsetzung der Projekte (soweit möglich) mit Beteiligung der Stadt / Stadtwerke und Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger erfolgt. Hierfür sollten im Vorfeld verschiedene Möglichkeiten potenzieller Gesellschafts- / Beteiligungsstrukturen geprüft werden.</p>	Kommune / Stadtwerke / Interessenten
9	2	2	Energie-Einsparförderprogramm	<p>Durch die Einführung eines Einsparförderprogramms könnten Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen durch die Bürger / Unternehmen über die Kommune bezuschusst werden. Hierdurch könnte die Sensibilisierung gesteigert werden. Allerdings sind die Förderungen in Kombination zu bestehenden Förderprogrammen des Bundes / Freistaats Bayern zu sehen. Eine Kumulierung müsste daher im Vorfeld geprüft werden.</p>	Kommune / Interessenten
10	5	3	Energieberatung für Bürger	<p>Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde ein gebäudescharfes Sanierungskataster erstellt. Das Sanierungskataster zeigt Einsparpotenziale durch energetische Sanierung an Wohngebäuden. Die Stadt könnte über Sensibilisierungsmaßnahmen die Bürgerinnen und Bürger für die Inanspruchnahme von Energieberatungen motivieren (z.B. über Soziale Netzwerke, Homepage der Stadt). Kommunale(r) Bildungsauftrag/Vorbildrolle in Kooperation mit Bildungseinrichtungen (Bsp.: Grund-/Mittelschule, Gymnasium, Hochschulen)</p>	Kommune / Energieberater / Medien
11	5	1	Regelmäßige Sensibilisierung und Information zu Förderprogrammen	<p>Sowohl auf Bundesebene als auch auf Landesebene gibt es eine Vielzahl von Förderprogrammen, die bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und dem effizienten Neubau in Anspruch genommen werden können. Es wird empfohlen, regelmäßig über aktuelle Förderprogramme zu informieren, z. B. über die Homepage der Stadt, (soziale) Medien oder Mitteilungsblätter.</p>	Kommune / Energieberater / Medien
12	4	4	Regelmäßige Aktualisierung und Evaluation der Energiebilanz aus dem Energienutzungsplan	<p>Die im Rahmen des Energienutzungsplans ausgearbeitete Energiebilanz und der Maßnahmenkatalog sollten regelmäßig aktualisiert werden. Hierdurch kann eine Evaluation der Energieeinsparungen bzw. der Ausbau erneuerbarer Energien stattfinden. Hierfür wird ein Zeitraum von 3-5 Jahren zwischen den Analysen vorgeschlagen. Dies ermöglicht auch eine wiederkehrende Berichterstattung an politische Gremien und die Windsbacher Öffentlichkeit.</p>	Kommune

13	5	3	Energiemanagement für kommunale Gebäude fortführen	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Energieverbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften ausgearbeitet. Es wird empfohlen, diese Übersicht mindestens jährlich zu aktualisieren und als Basis eines kommunalen Verbrauchsmonitorings zu nutzen. So können zwischenzeitlich durchgeführte energetische Maßnahmen bewertet und weiterer Handlungsbedarf sowie weitere Ansatzpunkte identifiziert werden. Darauf aufbauend können auch vorhandene Prioritäten und Budgets verteilt werden.	Kommune
14	2	3	Klimaschutzfreundliche Bauleitplanung	Die Kommune könnte durch Vorgaben in ihrer Bauleitplanung Einfluss auf die Nutzung erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz von Neubauten nehmen. Beim Ausweisen von Bau- oder Gewerbegebieten (insofern erforderlich) sollte geprüft werden, ob und inwieweit Vorgaben in diesen Bereichen möglich und sinnvoll sind. Bei kommunalen Neubauten wird empfohlen den Passivhausstandard umzusetzen. Ein entsprechender Beschluss wird empfohlen.	Kommune / Bauträger / Planer
15	2	5	Windkraft	In der Stadt Windsbach sind bereits Windkraftanlagen installiert. Der regionale Planungsverband West-Mittelfranken erarbeitet gerade eine Übersicht neuer Vorranggebiete. Vermutlich werden auch in der Stadt Windsbach weitere Vorranggebiete entstehen. Es sollte frühzeitig eine Strategie zum sinnvollen Ausbau der Windkraft mit Einbindung der Bürger entwickelt werden.	Kommune / Planer / Stadtwerke
16	3	3	Biogasanlagen	Der Aufbau einer sinnvollen Wärmenutzung in Zusammenarbeit mit allen relevanten Akteuren vor Ort (ggf. Zusammenschluss mehrerer Anlagen) wird empfohlen, um eine bestmögliche Effizienz hinsichtlich der Abwärmenutzung zu erreichen. Gleichermaßen stellt dieser einen wichtigen Grundpfeiler für die Ausarbeitung der Kommunalen Wärmeplanung dar. Des Weiteren liefert die Stromerzeugung aus Biogasanlagen einen wichtigen Beitrag zum regenerativen Strommix in der Stadt Windsbach. In enger Abstimmung mit den Biogasanlagenbetreibern sollten langfristige Strategien nach Auslauf des EEG-Förderzeitraums ausgearbeitet werden. Hierdurch kann die Gefahr von Stilllegungen zahlreicher Biogasanlagen ggf. verhindert werden. Auch das Thema der Biomethanisierung gewinnt an Bedeutung und sollte weiter geprüft werden.	Kommune / Stadtwerke / Biogasanlagenbetreiber
17	5	4	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Das Kommunale Wärmeplanungsgesetz wurde auf Bundesebene beschlossen. Jede Kommune wird verpflichtet die Kommunale Wärmeplanung durchzuführen. Es wird empfohlen, dass die Stadt Windsbach die Erstellung der kommunalen Wärmeplanung ausschreibt, sobald die politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen in Landesgesetz überführt wurden. Das gebäudescharfe Wärmekataster im Energienutzungsplan kann als Basis der kommunalen Wärmeplanung dienen.	Kommune
18	4	2	Entwicklung eines Ladeinfrastrukturkonzepts	Die stark wachsende Bedeutung der Elektromobilität stellt große Herausforderungen an die Netz- und Ladeinfrastruktur in den Kommunen. Es wird empfohlen, eine flächendeckende Analyse auszuarbeiten und somit das Mobilitätsaufkommen und den entsprechend zu erwartenden Bedarf an Ladeinfrastruktur räumlich aufgelöst darzustellen.	Kommune / Stadtwerke
19	4	3	Potenziale zur Effizienzsteigerung an der Kläranlage	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde ein Energiecheck für die Kläranlage der Stadt Windsbach durchgeführt. Darin wurde die Kläranlage energetisch eingeordnet und Potenziale zur Effizienzsteigerung untersucht. Daraus ergeben sich insbesondere Potenziale zur weiteren Eigenstromversorgung durch PV-Anlagen und Biogas-BHKWs. Um das Zusammenspiel der Energieerzeugungsanlagen und dem Betrieb der Kläranlage zu optimieren, wird empfohlen eine detaillierte Betrachtung der Kläranlage im Rahmen einer Energie- und Potenzialstudie durchzuführen.	Kommune
20	3	4	Personal zur Umsetzung der umfangreichen Maßnahmen	Zur Umsetzung der identifizierten Maßnahmen aus dem ENP, stetiger Verfolgung der Ziele zur Erreichung der Klimaneutralität und Ausbau der erneuerbaren Energien ist auch entsprechendes Personal in der Gemeindeverwaltung notwendig.	Kommune

7 Schwerpunktprojekte

7.1 Energiecheck der Kläranlage Windsbach

7.1.1 Rahmenbedingungen und Datengrundlage

Die Reinigung von Abwasser in Kläranlagen leistet einen elementaren Beitrag zum Umwelt- und Gewässerschutz. Der Betrieb einer Kläranlage ist mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Häufig stellt die Kläranlage den größten kommunalen Energieverbraucher dar.

Die Stadt Windsbach betreibt zur Abwasserreinigung eine Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 12.500 EW, welche sich entsprechend in die Größenklasse 4 einordnen lässt. Als Detailprojekt im Energienutzungsplan soll eine energetische Einordnung der Kläranlage im Rahmen eines Energiechecks nach in Anlehnung an das DWA-Merkblatt DWA-A-216 vorgenommen werden. Das Konzept folgt der Logik des sogenannten „Energetischen Dreisprung“: Energieeinsparung, Energieeffizienz und Nutzung Erneuerbarer Energien.

Als Datengrundlage dienen Messungen und Aufzeichnungen der Kläranlage, welche in Form von Jahresberichten zusammengefasst werden. Zusätzlich werden Strombezugslastgänge der letzten Jahre für die Betrachtung herangezogen.

Nachfolgendes Luftbild (Abbildung 21) zeigt die Kläranlage Windsbach.



Abbildung 21: Luftbild Kläranlage Windsbach (Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de)

7.1.2 Einordnung des Strombedarfes

Wie in Abbildung 22 dargestellt, konnte der Strombedarf durch betriebliche Optimierungen in den Jahren 2018 und 20219 bereits deutlich gesenkt werden. Der Gesamtstrombedarf der im Energiecheck hauptsächlich betrachteten Jahre 2020 und 2021 lag entsprechend jeweils bei rund 190.000 kWh/a und stieg im Jahr 2022 leicht auf rund 210.000 kWh/a. Außerdem wird die Eigenstromnutzung ab dem Jahr 2017 deutlich.

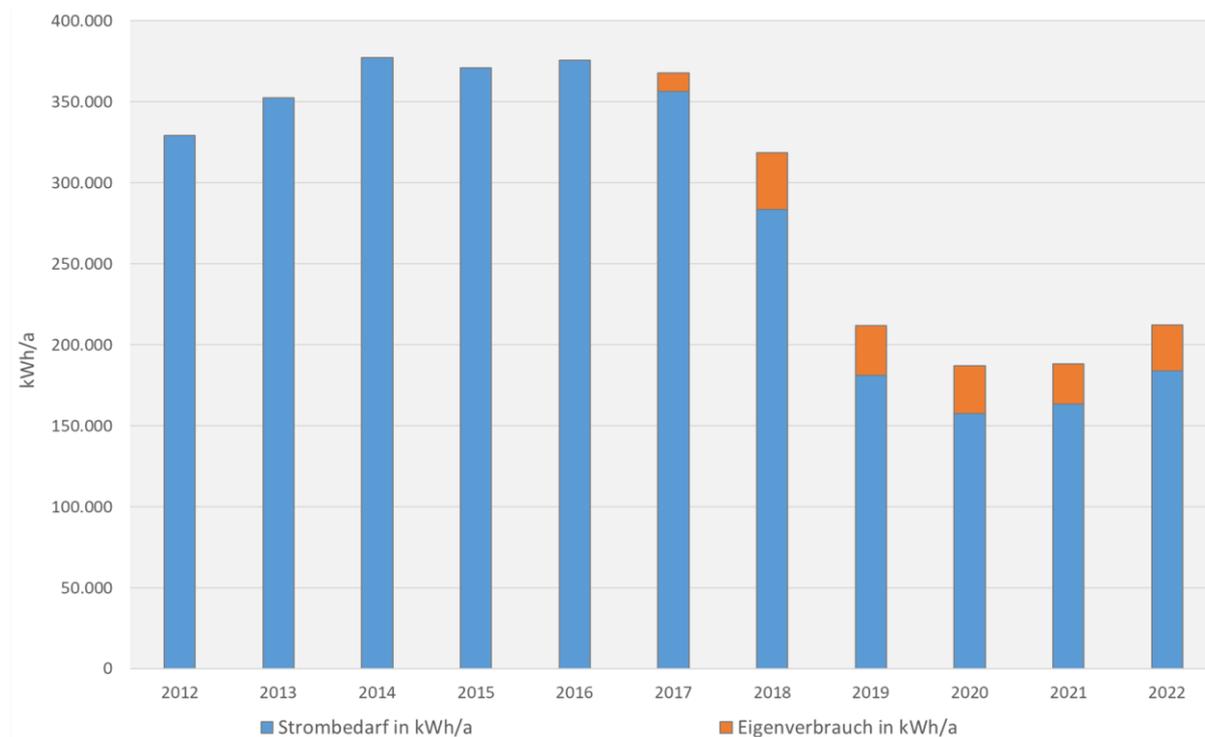


Abbildung 22: jährlicher Stromverbrauch der Kläranlage

In Abbildung 23 wird der Netzbezugslastgang der Kläranlage am Beispiel des Jahres 2022 dargestellt. Dieser weist einen typischen Verlauf einer Kläranlage mit PV-Eigenstromnutzung auf. Lediglich ab Oktober zeigt sich eine leichte Veränderung, die zum Beispiel auf die Änderung der Regelung einzelner Aggregate, wie z.B. der Gebläse, zurückgeführt werden kann. Ein Einfluss auf die Energieeffizienz ist an dieser Stelle noch nicht zu erkennen.

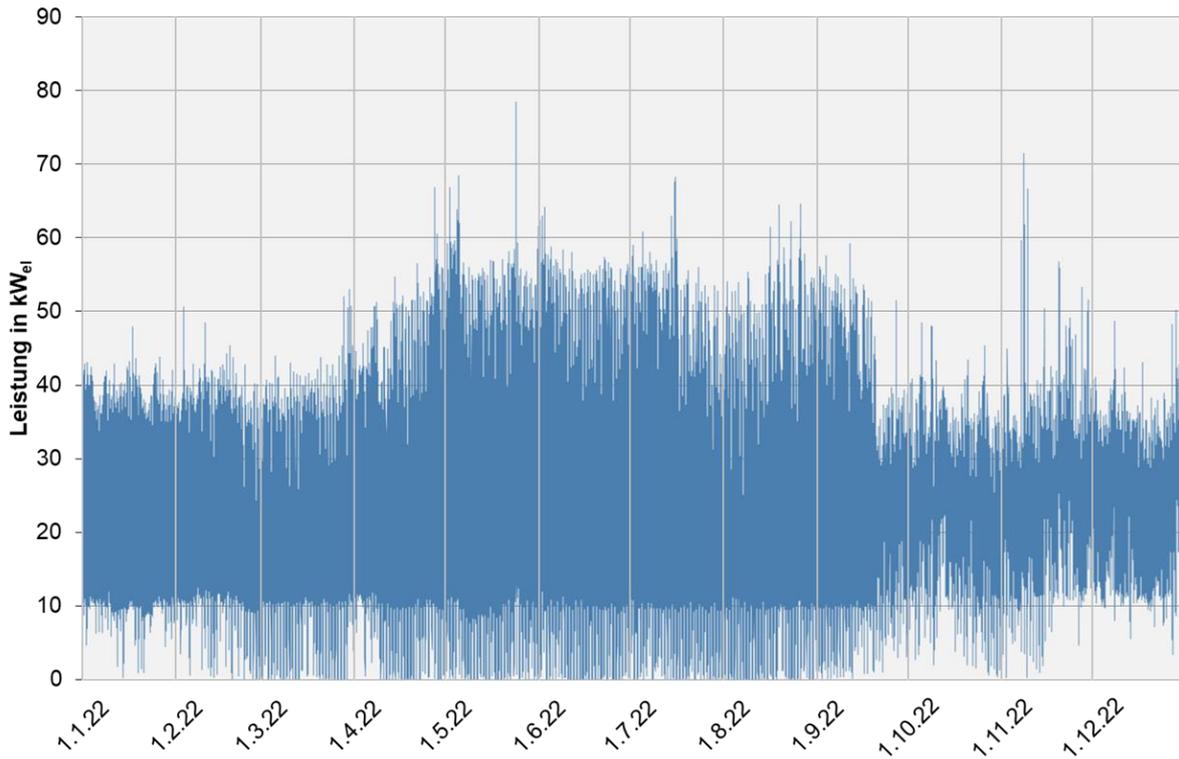


Abbildung 23: Lastgang Netzbezug 2022

Für die Bewertung der Energieeffizienz werden im Energiecheck spezifische Energieverbrauchswerte berechnet. Hierzu wird der Energiebedarf in Relation zur mittleren Einwohnerbelastung (bezogen auf CSB) gesetzt. Die Einwohnerbelastung lag im Jahr 2020 bei rund 13.400 EW_{CSB} und im Jahr 2021 bei rund 12.500 EW_{CSB} sowie im Jahr 2022 bei rund 11.500 EW_{CSB} . Insgesamt deuten die Belastungswerte auf eine leichte Überbelastung der Kläranlage hin.

Der Energiecheck liefert eine erste Einschätzung der Kläranlage Windsbach hinsichtlich Energieverbrauch und Energieerzeugung. Anhand einer ersten Positionsbestimmung kann die Kläranlage mit Anlagen ähnlicher Reinigungsart und Ausbaugröße verglichen werden. Idealerweise wird der Energiecheck separat für mehrere Jahre erstellt und auch in Zukunft weiter fortgeführt.

Aus den Diagrammen des Energiechecks sollen augenscheinliche Defizite herausgestellt werden. Daraus lassen sich Potenziale für eine detaillierte energetische Bewertung in Form der Energieanalyse ableiten.

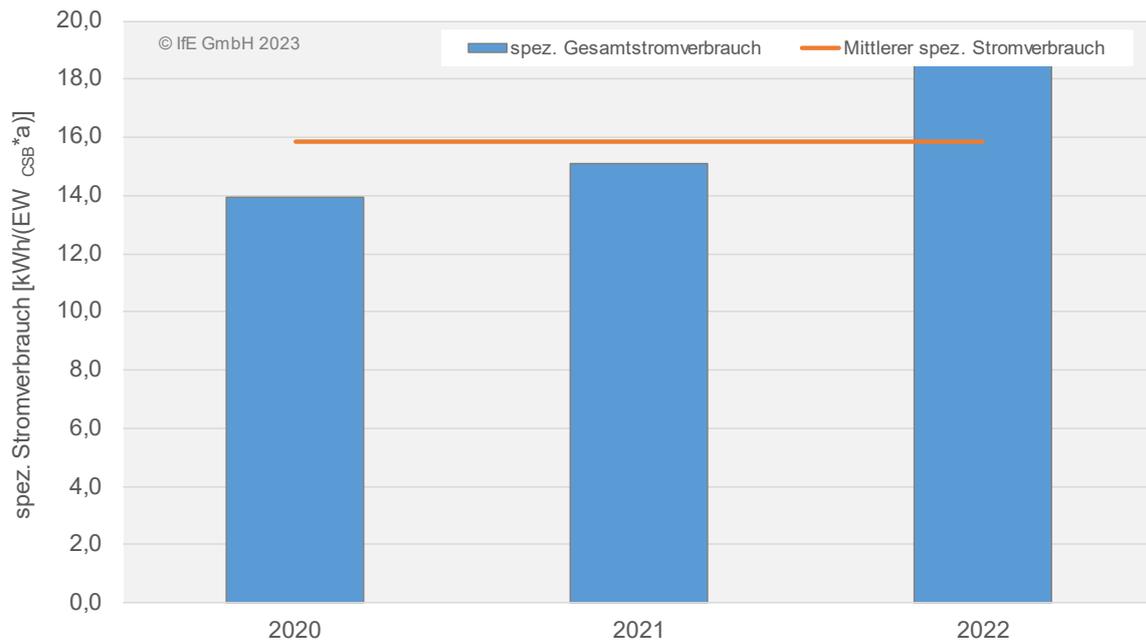


Abbildung 24: Spezifischer Stromverbrauch

Der mittlere spezifische Strombedarf im Zeitraum 2020 bis 2022 beträgt 15,8 kWh/(EW_{CSB}*a) (siehe Abbildung 24). In den betrachteten Jahren ist ein leichter Anstieg des spezifischen Verbrauches von 13,9 auf 18,5 kWh/(EW_{CSB}*a) zu erkennen. Gemessen an anderen Kläranlagen ähnlicher Größe und Reinigungsart zeichnet sich in Abbildung 25 folgendes Bild ab:

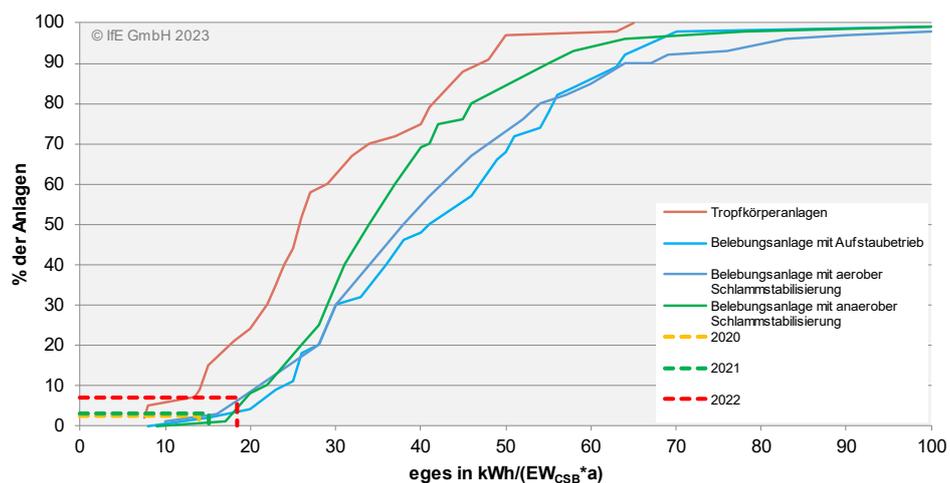


Abbildung 25: Spezifischer Gesamtstrombedarf

Demnach können etwa 3 bis 7 % der vergleichbaren Kläranlagen je nach Betrachtungsjahr einen besseren spezifischen Gesamtstromverbrauch vorweisen als die Kläranlage Windsbach. Somit weist die

Kläranlage einen guten spezifischen Stromverbrauchswert auf. Der Energiecheck sollte dennoch in den nächsten Jahren fortgeführt werden. Dabei wird empfohlen, dass ein besonderes Augenmerk darauf gelegt wird, ob sich der Anstieg des spezifischen Verbrauchswertes im Jahr 2022 weiter fortsetzt.

7.1.3 Einordnung der Eigenstromversorgung

Wie bereits in Abbildung 22 zu sehen ist, wird derzeit ein vergleichsweise geringer Anteil von rund 13 % des Stromverbrauches der Kläranlage vor Ort durch Erneuerbare Energien gedeckt. Es wird empfohlen, diesen Anteil zu erhöhen. So wird beispielsweise in der Kommunalrichtlinie für Kläranlagen ein Autarkiegrad von 70 % gefordert. Dies kann durch folgende Maßnahmen bewerkstelligt werden:

1. Errichtung weiterer PV-Anlagen auf dem Gelände der Kläranlage zur Eigenstromnutzung:
Die bestehende PV-Anlage sollte erweitert werden. Hierbei sollten außer den Dachflächen auch eine mögliche Freiflächenanlage oder ggf. Floating-PV in Betracht gezogen werden
2. Stromerzeugung durch Biogas-BHKW:
Am Gelände der Kläranlage soll künftig eine Biogas-Leitung vorbeiführen. Durch einen Anschluss an diese Leitung kann ein Biogas-BHKW zur weiteren Eigenstromerzeugung auf der Kläranlage genutzt werden.

Um die Autarkie der Kläranlage zu erhöhen sollten die stromerzeugenden Anlagen sowie der Stromverbrauch aufeinander abgestimmt werden. Durch die Errichtung eines Batteriespeichers kann anschließend die Autarkie weiter optimiert werden.

7.1.4 Maßnahmenempfehlung

Im Energiecheck nach DWA-A-216 wurde die Kläranlage Windsbach energetisch eingeordnet und Potenziale zur Effizienzsteigerung untersucht. Es zeigt sich, dass die Kläranlage in den letzten Jahren einen guten Stromverbrauchswert aufweist, der im Jahr 2022 wieder leicht gestiegen ist. Potenziale zeigen sich im Wesentlichen in Bezug auf die weitere Eigenstromversorgung durch PV-Anlagen und Biogas-BHKW. Um das Zusammenspiel der Energieerzeugungsanlagen und dem Betrieb der Kläranlage zu optimieren, wird empfohlen eine detaillierte Betrachtung der Kläranlage im Rahmen einer Energie- und Potenzialstudie durchzuführen.

7.2 Aufbau eines Nahwärmenetzes in der Stadt Windsbach

Im Rahmen des Energienutzungsplanes für die Stadt Windsbach wurde untersucht, ob und in welchem Bereich der Aufbau eines Wärmeverbundes sinnvoll ist und welche Vorteile der Aufbau eines Wärmenetzes mit sich bringen kann. Als Gebietsumgriff wurde nahezu die gesamte historische Stadtmitte, im Weiteren als „Altstadt“ bezeichnet, sowie das Untersuchungsgebiet der „Vorstadt“ in Richtung Westen auf der gegenüberliegenden Seite der fränkischen Rezat (Bachlauf) definiert.

Im Zuge der Untersuchung der beiden Gebiete wurde eine überwiegende Wärmeversorgung durch dezentrale, auf fossilen Energieträgern basierende Heizanlagen ermittelt. Es kann angenommen werden, dass diese in den kommenden Jahren sukzessiv ausgetauscht werden müssen bzw. sollen. Zudem sind im Bereich der Altstadt einige größere bzw. öffentliche Liegenschaften, wie z. B. das Rathaus, die kirchlichen Liegenschaften sowie die Burganlage verortet. Diese können künftig als sog. Ankerkunden dienen. Vor allem durch die historisch bedingte, kompakte Bebauung der Hauptstraße im Altstadtbereich mit größeren, teilweise denkmalgeschützten Liegenschaften (Einzeldenkmäler und Ensemble) bietet sich vor allem im Kern der Stadt die Untersuchung zum Aufbau einer netzgebundenen Wärmeversorgung an.

Das zweite Untersuchungsareal um die obere und die untere Vorstadt setzt sich überwiegend aus Einzelparzellen mit Ein- und Zweifamilien- sowie kleineren Mehrfamilienhäusern zusammen. Der örtlich ansässige Gewerbebetrieb bleibt zunächst unberücksichtigt. Ausgangspunkte eines möglichen Wärmeverbundes in diesem Bereich können die beiden südlich gelegenen Biogasanlagen auf Basis von Abwärmenutzung sowie ein geplantes Neubaugebiet an der Straße „Obere Vorstadt“ und die sich daraus ergebende Möglichkeit für die Errichtung einer Energiezentrale im Zuge der Erschließung sein.

7.2.1 IST-Zustand

Um den Wärmebedarf zu bestimmen und somit das Wärmenetz auszulegen, wurden die zur Erstellung eines gebäudescharfen Wärmekatasters ermittelten Wärmebedarfe für die einzelnen Gebäude hinterlegt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die grafische Darstellung der berechneten, absoluten Wärmebedarfswerte je Liegenschaft, auf welchen die anschließenden Kalkulationen aufbauen. Rot hinterlegte Liegenschaften weisen einen hohen Wärmebedarf auf, grün bis gelb eingefärbte Gebäude haben einen geringen Wärmebedarf.



Abbildung 26: Auszug aus dem Wärmekataster – Altstadt (Quelle: Online-GIS mit Open-Street-Map Layer; Bearbeitung: IFE GmbH)

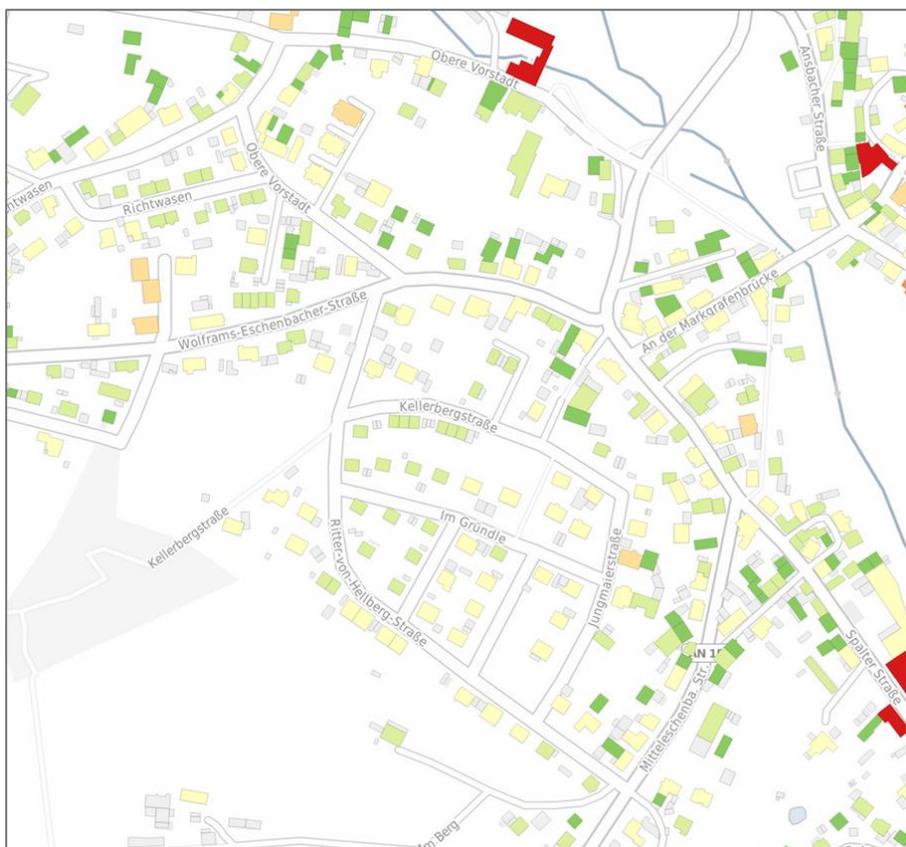


Abbildung 27: Auszug aus dem Wärmekataster – Vorstadt (Quelle: Online-GIS mit Open-Street-Map Layer; Bearbeitung: IFE GmbH)

7.2.2 Möglicher SOLL-Zustand

Untersuchungsgebiet Altstadt:

Unter Berücksichtigung eines vollständigen Anschlusses der öffentlichen und kirchlichen Einrichtungen sowie einer mittleren Anschlussquote von bis zu 60 % der im Gebietsumgriff liegenden privaten und gewerblichen Immobilien ergeben sich folgende Kennzahlen bezogen auf das Untersuchungsgebiet (anzunehmende, mittelfristig erreichbare Anschlussquote).

Tabelle 2: Kennzahlen Wärmeverbund Altstadt (Gesamtwärmebedarf 100% AQ / 60% AQ)

Kenndaten Wärmenetz und Trassenverlauf – 100% AQ		Kenndaten Wärmenetz und Trassenverlauf – 60% AQ	
Anzahl Abnehmer gesamt	ca. 130	Anzahl Abnehmer gesamt	ca. 80
Trassenlänge inkl. Hausanschlüsse	ca. 2.300 m	Trassenlänge inkl. Hausanschlüsse	ca. 1.900 m
Nutzwärmebedarf ¹	ca. 5.060 MWh _{th} /a	Nutzwärmebedarf ¹	ca. 3.040 MWh _{th} /a
progn. Netzverlust	ca. 200 MWh _{th} /a	progn. Netzverlust	ca. 180 MWh _{th} /a
Wärmebedarf gesamt	ca. 5.260 MWh _{th} /a	Wärmebedarf gesamt	ca. 3.220 MWh _{th} /a
Anschlussleistung Abnehmer ²	ca. 2.800 kW _{th}	Anschlussleistung Abnehmer ²	ca. 1.700 kW _{th}

¹ohne Trassenwärmeverluste

²ohne Trassenwärmeverluste, ohne Gleichzeitigkeitsfaktor

Für die netzgebundene Wärmeversorgung der im Plan dargestellten Abnehmer (folgende Abbildung; 100 % Anschlussquote) ergibt sich als wesentliche Kennzahl für die Erstellung eines Wärmeverbundes, ausgehend von einer Heizzentrale am östlichen Ende des Altstadtbereiches (ehem. Bolzplatz), eine Wärmebelegungsdichte von max. 2,2 MWh_{th}/(m*a) sowie ca. 1,6 MWh_{th}/(m*a) bei einer mittleren Anschlussquote von ca. 60 %.

Der Kennwert der spezifischen Wärmebelegungsdichte gibt an, welche Wärmemenge über eine bestimmte Leitungslänge (1 m) pro Jahr abgesetzt werden kann. Je höher dieser Wert ist, desto effizienter und somit wirtschaftlicher kann ein Wärmeverbund betrieben werden. Zur groben Einschätzung kann darauf verwiesen werden, dass ein guter Wert bei >1.000 kWh_{th}/(m*a) beginnt und sehr gute Werte über >1.500 kWh_{th}/(m*a) liegen. Eine exakte Trennlinie kann dabei jedoch nicht gesetzt werden, da ein wirtschaftlich darstellbarer Betrieb zudem von weiteren, zahlreichen Randbedingungen abhängig ist.



Abbildung 28: betrachteter Gebietsumgriff für das Wärmenetz im Altstadtbereich der Stadt Windsbach (Quelle: Stadt Windsbach; Bearbeitung: IfE GmbH; Lageplanauszug)

Mithilfe der sog. mittleren Gradtagszahlen, welche auf Basis der Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes für die Stadt Windsbach vorliegen, ist es möglich den prognostizierten, jährlichen Wärmebedarf auf die einzelnen Monate eines Bilanzjahres aufzuteilen. D.h. der Wärmebedarf wird so über die Monate im Jahr verteilt, wie er aufgrund der Temperaturunterschiede zwischen Außenluft und Raumluft in den Gebäuden anfällt. Für den Gebäudebestand wird zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser ein Anteil in Höhe von ca. 15 % des Gesamtwärmebedarfs berücksichtigt (ca. 450 MWh_{th}/a). Zur Raumwärmebereitstellung sind somit rund 2.590 MWh_{th}/a zu erwarten.

Zu berücksichtigende Trassenwärmeverluste an das umgebende Erdreich sind im Mittel mit einem absoluten Betrag von rund 180 MWh_{th}/a beachtet (≈ 6 %; 2x verstärkte Dämmung, Doppelrohr-Leitungssystem und ganzjähriger Betrieb; 60 % Anschlussquote).

Sowohl der Wärmebedarf zur Warmwasserbereitstellung als auch die anfallenden Wärmeverluste im Netz werden vereinfacht als über das Jahr konstant angesehen. Anschließende Grafik zeigt neben den monatlichen Bedarfswerten den prozentualen Anteil der Trassenwärmeverluste.

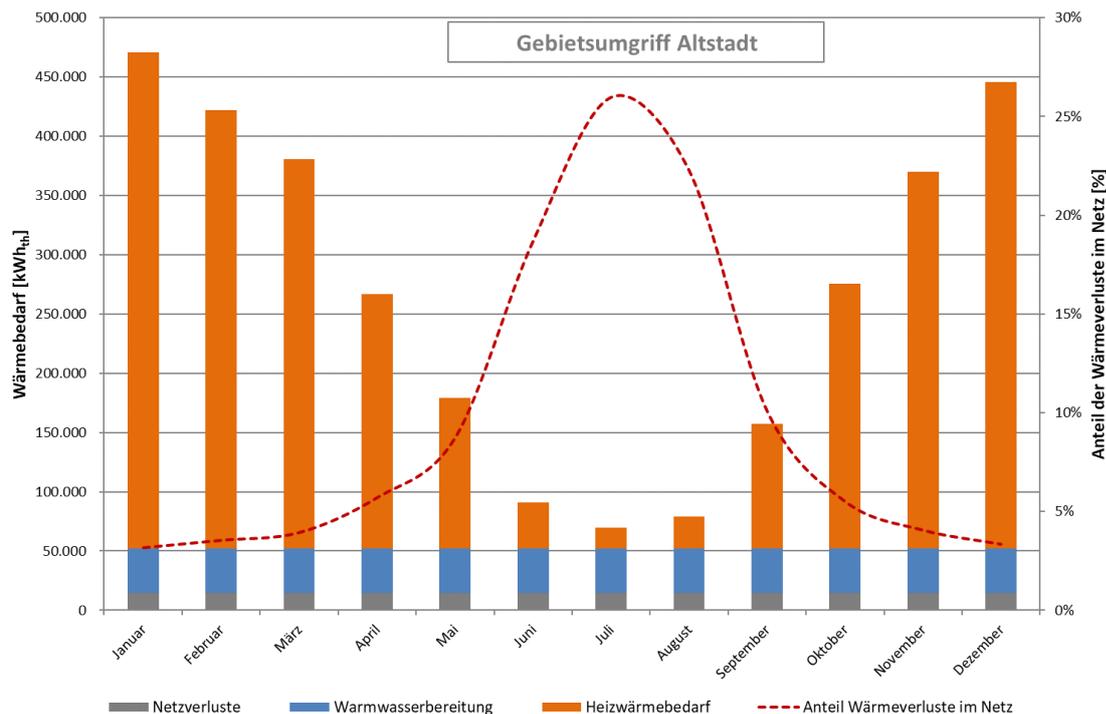


Abbildung 29: Verteilung des monatlichen Wärmebedarfs im Gebietsumgriff Altstadt (60 % AQ)

In einem weiteren Schritt wurde auf Grundlage der monatlich anfallenden Wärmebedarfswerte sowie mit Bezug auf anzulegende Vollbenutzungsstunden zur Leistungsabschätzung die zu erwartende, geordnete thermische Jahresdauerlinie gebildet. Diese beschreibt den Leistungsbedarf über alle 8.760 Stunden eines Jahres, geordnet vom höchsten bis zum geringsten Leistungsbedarf. Dabei wurden im Mittel 1.700 – 2.000 Vollbenutzungsstunden angenommen, d.h. rein rechnerisch gesehen wird zu so vielen Stunden die volle Leistung der Wärmeerzeuger benötigt.

Ergänzt wurde die Abschätzung zur benötigten Spitzenleistung im Verbund durch den sog. Gleichzeitigkeitsfaktor, welcher im Wesentlichen sowohl von der Art und Nutzung der Liegenschaften sowie maßgeblich von der Anzahl der Liegenschaften im Verbund abhängig ist (je mehr LS desto niedriger der Gleichzeitigkeitsfaktor; Annahme: 0,75).

Anschließende Grafik zeigt, dass sich so als Spitzenlast etwa 1.350 kW_{th} ergeben, während im mittleren Lastbereich ca. 600 – 650 kW_{th} bereitzustellen sind. In den Sommermonaten fällt die benötigte Heizleistung auf rund 100 kW_{th} ab (therm. Grundlast).

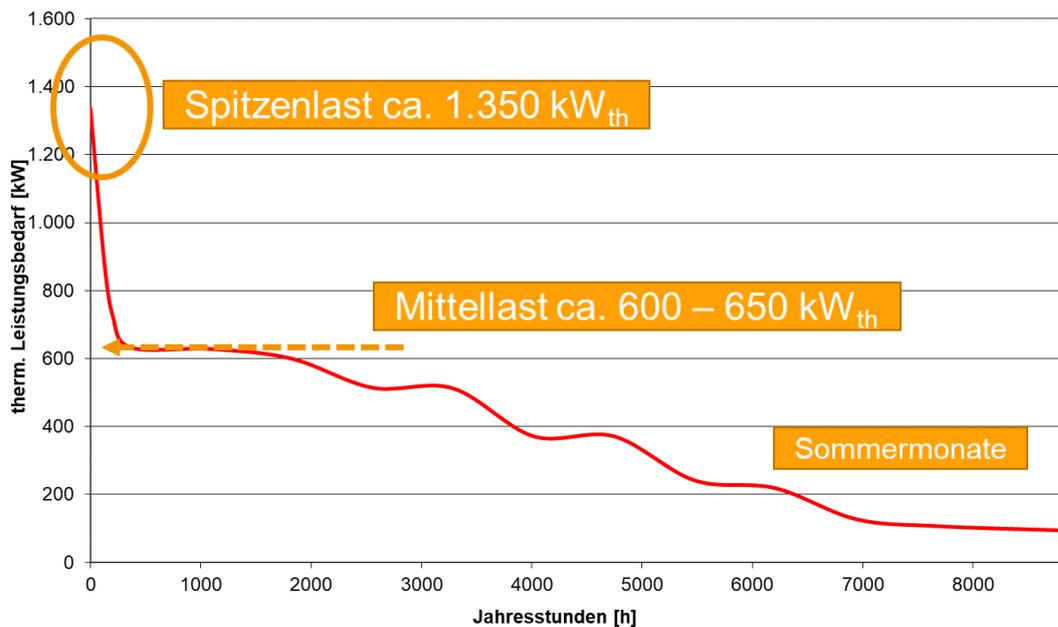


Abbildung 30: Darstellung der thermischen Jahresdauerlinie im Gebietsumgriff Altstadt (60 % AQ)

Auf Basis der Jahresdauerlinie wurden zwei verschiedene Wärmeversorgungsvarianten als mögliche, erste Ansätze zum Aufbau einer Verbundlösung sowie eine im weiteren Verlauf bzw. bei Weiterentwicklung des Projektes durchzuführende, detaillierte ökonomische sowie ökologische Bewertung, aufgestellt.

Bei den abgebildeten, möglichen Versorgungslösungen wird der Fokus zum einen auf eine möglichst diversifizierte Wärmebereitstellung auf Basis von Biomasse und Umweltwärme sowie zum anderen unter Einsatz von KWK-Anlagen, Biomasse und Umweltwärme gelegt. Beiden Lösungsansätzen gemein ist eine Spitzenlastkesselanlage z. B. auf Basis von Erd-/Flüssiggas oder aber mittels einer Power-to-Heat Anlage (< 10 % Anteil).

Ziel der Einbindung von Umweltwärme ist die Nutzung zunächst überwiegend in den Sommer- und Übergangsmonaten zur Reduktion des Anteils aus holzartiger Biomasse (effizienter Anlagenbetrieb z. B. bei Luft-/Wasser-Wärmepumpenanlagen). Ergänzt werden können die Hauptenergie-erzeugungsanlagen beispielsweise noch durch Solarthermie- und / oder PV-Anlagen (Aufdach / Freifläche). Weiterhin ist bei einer Kombination bzw. Auswahl der Aggregate das benötigte Temperaturniveau im Verbund sowie mögliche Optimierungspotenziale zu beachten (Trassenführung, T-Niveau, Effizienzsteigerung, Synergieeffekte etc.).

Tabelle 3: exemplarische Versorgungslösungen im Bereich der Altstadt

Variante 1.0	Variante 2.0	Variante 3.x
Biomassekessel 1/2 (ca. 600/350 kW _{th})	Biomassekessel (ca. 400 kW _{th})	...
Wärmepumpenanlage (ca. 250 kW _{th})	2x KWK-Anlage (je ca. 300 kW _{th})	...
Spitzenlastkesselanlage (ca. 1.000 kW _{th})	Wärmepumpenanlage (ca. 250 kW _{th})	...
...	Spitzenlastkesselanlage (ca. 1.000 kW _{th})	...
... PV-Anlage ... Solarthermie etc. (Dach Heizzentrale)		

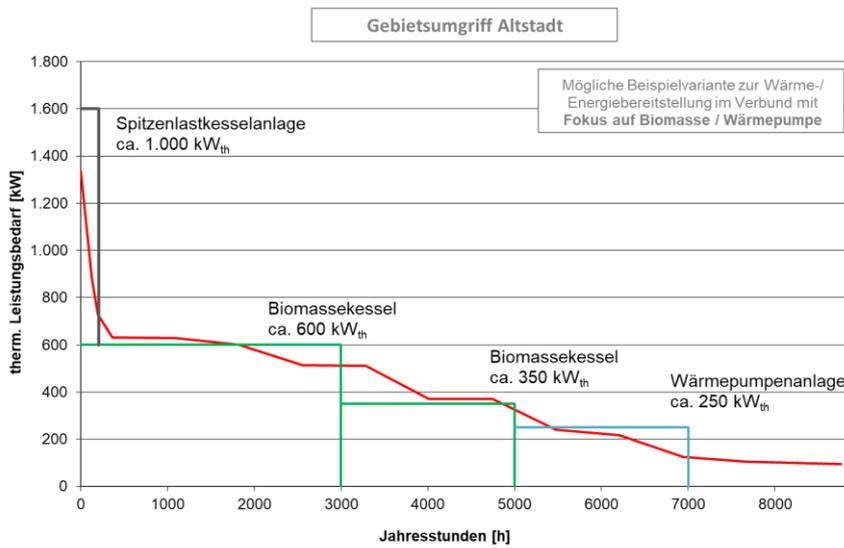


Abbildung 31: Darstellung möglicher Versorgungslösung 1.0 – Altstadt

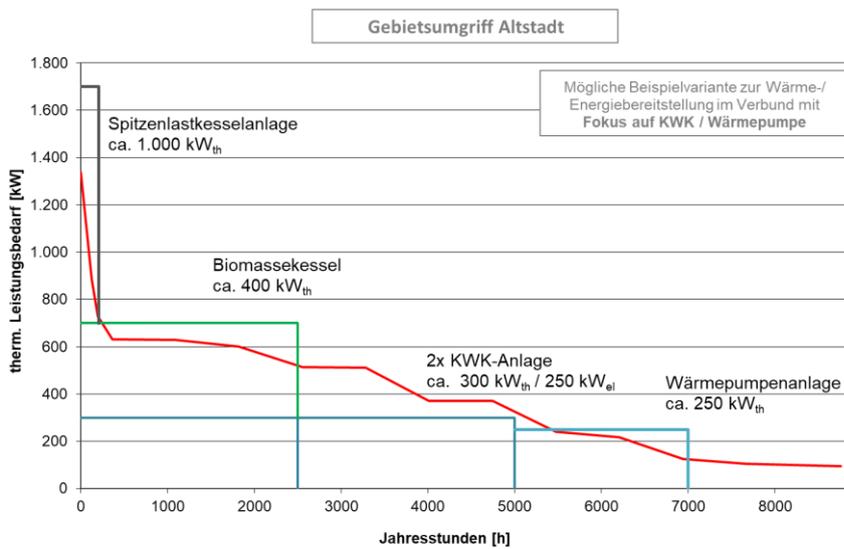


Abbildung 32: Darstellung möglicher Versorgungslösung 2.0 – Altstadt

Untersuchungsgebiet Vorstadt:

Unter Berücksichtigung einer mittleren Anschlussquote von bis zu 60 % der im Gebietsumfang liegenden privaten, gewerblichen und öffentlichen Immobilien ergeben sich folgende Kennzahlen im Untersuchungsgebiet der Vorstadt (anzunehmende, mittelfristig erreichbare Anschlussquote im Betrachtungsgebiet).

Tabelle 4: Kennzahlen Wärmeverbund Vorstadt (Gesamtwärmebedarf 100% AQ / 60% AQ)

Kenndaten Wärmenetz und Trassenverlauf – 100% AQ		Kenndaten Wärmenetz und Trassenverlauf – 60% AQ	
Anzahl Abnehmer gesamt	ca. 310	Anzahl Abnehmer gesamt	ca. 190
Trassenlänge inkl. Hausanschlüsse	ca. 8.500 m	Trassenlänge inkl. Hausanschlüsse	ca. 7.250 m
Nutzwärmebedarf ¹	ca. 7.700 MWh _{th} /a	Nutzwärmebedarf ¹	ca. 4.630 MWh _{th} /a
progn. Netzverlust	ca. 1.000 MWh _{th} /a	progn. Netzverlust	ca. 800 MWh _{th} /a
Wärmebedarf gesamt	ca. 8.550 MWh _{th} /a	Wärmebedarf gesamt	ca. 5.390 MWh _{th} /a
Anschlussleistung Abnehmer ²	ca. 4.300 kW _{th}	Anschlussleistung Abnehmer ²	ca. 2.600 kW _{th}

¹ohne Trassenwärmeverluste

²ohne Trassenwärmeverluste, ohne Gleichzeitigkeitsfaktor

Für die netzgebundene Wärmeversorgung der im Plan dargestellten Abnehmer (folgende Abbildung; 100 % Anschlussquote; Hausanschlussleitungen pauschal) ergibt sich als wesentliche Kennzahl für die Erstellung eines Wärmeverbundes, ausgehend von einer Heizzentrale an der Straße „Obere Vorstadt“ bzw. im angedachten Neubaugebiet, eine Wärmebelegungsdichte von max. 0,9 MWh_{th}/(m*a) sowie ca. 0,64 MWh_{th}/(m*a) bei einer mittleren Anschlussquote von ca. 60 %.

Die bereits erwähnten potenziell zur Abwärmenutzung verfügbaren Biogas-Anlagen liegen südlich des Betrachtungsgebietes außerhalb der Ortsgrenze. Bei einer Trassenführung entlang vorhandener Wirtschafts- und Zufahrtswege sind für die Anbindung der genannten Anlagen zudem ca. 800 – 1.200 m Leitungslänge notwendig.

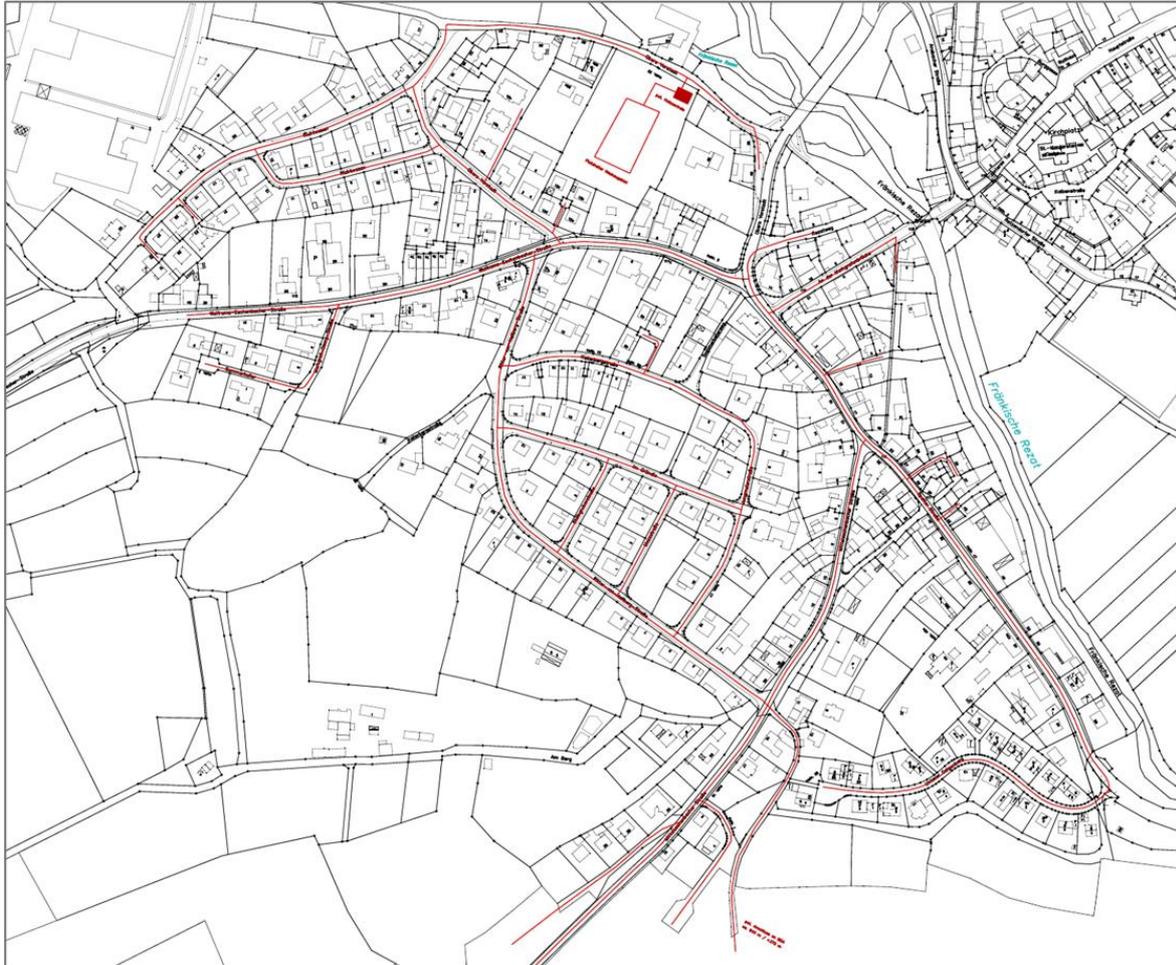


Abbildung 33: betrachteter Gebietsumgriff für das Wärmenetz im Ortsteil „Vorstadt“ der Stadt Windsbach (Quelle: Stadt Windsbach; Bearbeitung: IfE GmbH; Lageplanauszug)

Mithilfe der sog. mittleren Gradtagszahlen, wird auch hier der prognostizierte, jährliche Wärmebedarf auf die einzelnen Monate eines Bilanzjahres aufgeteilt und abgebildet. Für den Gebäudebestand wird zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser ein Anteil in Höhe von ca. 15 % des Gesamtwärmebedarfs berücksichtigt (ca. 700 MWh_{th}/a). Zur Raumwärmebereitstellung sind somit rund 3.930 MWh_{th}/a prognostiziert.

Zu erwartende Trassenwärmeverluste an das umgebende Erdreich sind im Mittel mit einem absoluten Betrag von rund 800 MWh_{th}/a beachtet ($\approx 16\%$; 2x verstärkte Dämmung, Doppelrohr-Leitungssystem und ganzjähriger Betrieb; 60 % Anschlussquote).

Sowohl der Wärmebedarf zur Warmwasserbereitstellung als auch die anfallenden Wärmeverluste im Netz werden vereinfacht als über das Jahr konstant angesehen. Anschließende Grafik zeigt neben den monatlichen Bedarfswerten den prozentualen Anteil der Trassenwärmeverluste.

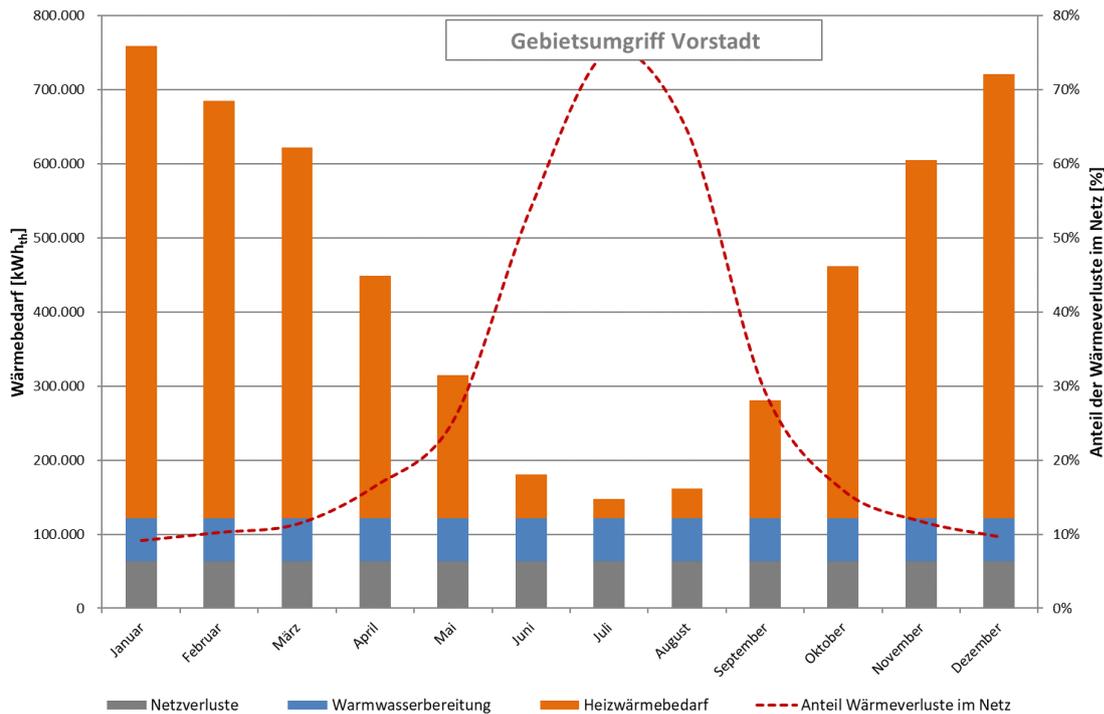


Abbildung 34: Verteilung des monatlichen Wärmebedarfs im Gebietsumgriff Vorstadt (60 % AQ)

Ebenso wie zuvor wurde in einem weiteren Schritt auf Grundlage der monatlich anfallenden Wärmebedarfswerte sowie mit Bezug auf anzulegende Vollbenutzungsstunden zur Leistungsabschätzung die zu erwartende, geordnete thermische Jahresdauerlinie gebildet.

Ergänzt wurde die Abschätzung zur benötigten Spitzenleistung im Verbund durch den sog. Gleichzeitigkeitsfaktor, welcher im Wesentlichen sowohl von der Art und Nutzung der Liegenschaften sowie maßgeblich von der Anzahl der Liegenschaften im Verbund abhängig ist (je mehr LS desto niedriger der Gleichzeitigkeitsfaktor; Annahme: 0,65).

Anschließende Grafik zeigt, dass sich so als Spitzenlast etwa 2.000 kW_{th} ergeben, während im mittleren Lastbereich ca. 1.000 kW_{th} bereitzustellen sind. In den Sommermonaten fällt die benötigte Heizleistung auf rund 200 – 250 kW_{th} ab (therm. Grundlast).

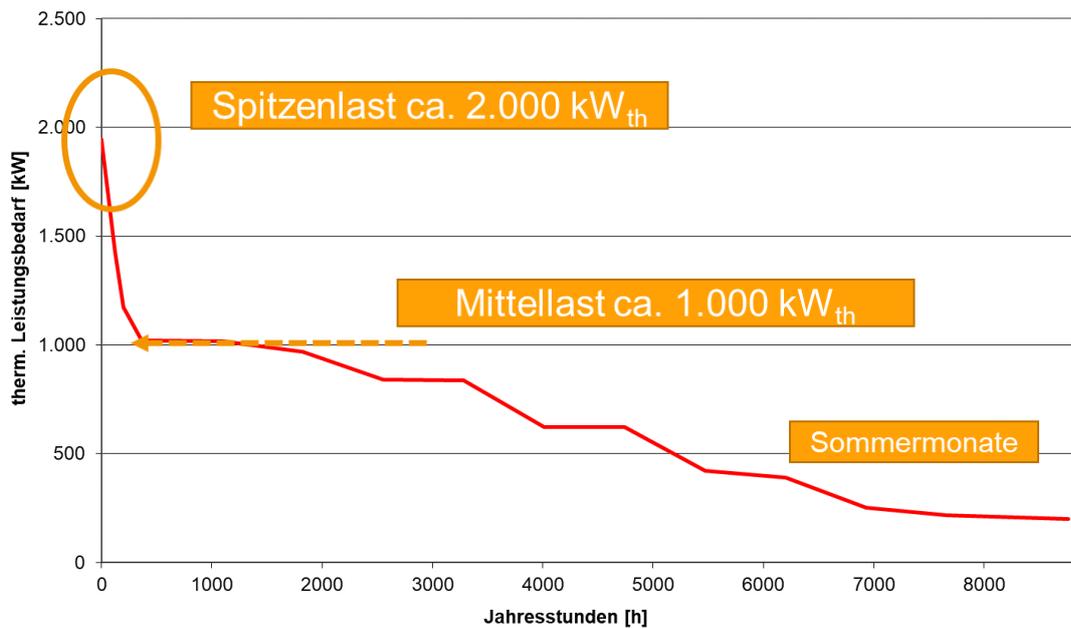


Abbildung 35: Darstellung der thermischen Jahresdauerlinie im Gebietsumgriff Vorstadt (60 % AQ)

Bei der Betrachtung verschiedener, möglicher Versorgungsvarianten sind zahlreiche Randbedingungen zu beachten. Aufgrund der noch sehr frühen Planungsphase zur Entwicklung des Neubaugebietes sowie zunächst abzuklärender, örtlich verfügbarer Potenziale (vgl. Abwärmenutzung Biogasanlage) wird keine Betrachtung möglicher Versorgungslösungen angestellt.

Gegenwärtig wären hier beispielsweise vorhandene Abwärmepotenziale genauer zu spezifizieren und mit den Anlagenbetreibern zu klären (vgl. therm. Leistung, Betriebszeit pro Jahr, Betriebssicherheit hinsichtlich Redundanz und angedachter Betriebszeitraum der Anlagen nach Auslaufen des EEG-Förderzeitraumes).

Im Rahmen der Bewertung des Detailprojektes im ENP liegt der Fokus für das Gebiet der Vorstadt zuerst auf der Ermittlung des zu erwartenden therm. Energieverbrauchs sowie wichtiger Kennwerte zum Aufbau einer Wärmeverbundlösung. Grundsätzlich ist die zu erwartende Wärmebelegungsdichte als niedrig einzustufen. Die benötigte Wärmeleistung liegt aufgrund der Anzahl möglicher Anschlussnehmer vergleichsweise hoch. Dies bedeutet je nach Versorgungslösung und eingesetzter Energieträger vergleichsweise höhere Investitionen in benötigte Anlagentechnik sowie spezifisch betrachtet für die Wärmetrasse.

Weiterhin ist aufgrund der notwendigen Trassenlänge und der daraus resultierenden, niedrigen Wärmebelegungsdichte der prozentuale Anteil der Wärmeverluste bereits im zweistelligen Prozentbereich

verortet. Unter dem Aspekt einer möglichen Umsetzung sollten in jedem Fall verfügbare Optimierungsmaßnahmen (Netzverlauf, auszuschließende Trassenabschnitte etc.) ergriffen werden.

7.2.3 Ökonomische und ökologische Einschätzung

Altstadt:

Abschließend ist festzuhalten, dass eine detailliertere Untersuchung des Gebietsumgriffs Altstadt im Hinblick auf den Aufbau eines Wärmeverbundes ratsam scheint. Zum einen weist das Wärmenetz bereits bei einer mittleren Anschlussquote von 60 % bereits eine spezifische Wärmebelegungsdichte von $1.600 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ auf, zum anderen befinden sich im Gebietsumgriff einige öffentliche Liegenschaften, welche künftig als Ankerkunden angesehen werden können. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass ein wirtschaftlicher Betrieb einer Verbundlösung möglich ist. Hierbei sollten Synergieeffekte genutzt (z. B. Straßen- oder Kanalbauarbeiten) und detailliertere Untersuchungen angestellt werden. Ein erster Schritt hierzu kann die Ermittlung sowohl eines konkreten Anschlussinteresses sowie Wärmebedarfsdaten je Liegenschaft auf Grundlage einer Datenerhebung bei den Haushalten im Untersuchungsgebiet sein.

Es wird empfohlen im nächsten Schritt eine detaillierte Machbarkeitsstudie mit Förderung durch die BEW durchzuführen. Infos zur BEW-Förderung sowie zu weiteren relevanten Förderprogrammen (Richtlinie BioWärme-Bayern und KWKG) werden im Anschluss beschrieben.

Obere / Untere Vorstadt:

Aufgrund der zu erwartenden, niedrigen Wärmebelegungsdichte (ca. $0,64 \text{ MWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) auf Basis einer mittelfristig darstellbaren, mittleren Anschlussquote von bis zu 60 % erscheint der Aufbau und Betrieb eines Wärmeverbundes für diesen Bereich der Stadt Windsbach wirtschaftlich nicht sicher möglich. Die abschließende Bewertung eines möglichen, wirtschaftlichen Betriebes hängt jedoch von zahlreichen Faktoren ab, welche im Umfang der durchgeführten Voruntersuchung nicht in vollem Umfang beachtet werden können (z. B. tatsächliches Anschlussinteresse der Anlieger, verfügbares Abwärmepotenzial und Kosten für deren Bezug, Standort und Ausführung der Heizzentrale etc.).

Treibhausgasemissionen (allgemein / beide Untersuchungsgebiete):

Aufgrund der bestehenden Erzeugerstruktur in beiden Untersuchungsgebieten (überwiegend fossile Energieträger) ist davon auszugehen, dass es durch die Errichtung einer Wärmeverbundlösung unter

Nutzung regenerativer Energieträger und je nach gewählter Erzeugerstruktur zu einer deutlichen Einsparung von Treibhausgasemissionen kommen kann.

7.2.4 Fördermöglichkeiten Wärmenetze

7.2.4.1 Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

Über das BEG (Bundesförderung für effiziente Gebäude) hinaus bzw. als Ergänzung zur Förderung eines Wärmeverbundes im BEG (bis 16 Liegenschaften / 100 Wohneinheiten) ist seitens des Bundes die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze aufgelegt worden.

Diese ermöglicht mittels einer Investitionsförderung (sowie einer Betriebskostenförderung) den Auf- und Ausbau von Wärmenetzen auf Basis regenerativer Energien. Ebenso erfolgt im Zusammenhang mit dem BEW eine Förderung zur Transformation bestehender, fossil befeuerter Nah- und Fernwärmenetze hin zur Treibhausgasneutralität. Weiterhin sollen Anreize geschaffen werden, Abhängigkeiten von fossilen Rohstoffen zu verringern.

Als wesentliche Kenngröße zur Einordnung der Förderbarkeit dient in einem ersten Schritt die Anzahl der zu versorgenden Gebäude bzw. Wohneinheiten. Hierbei erfolgt ein nahtloser Übergang von der BEG hin zum BEW. So ist eine Förderung im BEW möglich, sobald 17 oder mehr Gebäude bzw. mehr als 100 Wohneinheiten versorgt werden sollen.

Darüber hinaus wird ein Mindestanteil regenerativer Energien im Verbund von 75 % definiert.

Die BEW schafft Anreize für Wärmenetzbetreiber in den Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien zu investieren und bestehende Netze zu dekarbonisieren.

Kommunen können beispielsweise Zuschüsse erhalten, wenn diese ein Nahwärmenetz mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien im Neubau- und Bestandsgebiet errichten oder auch gefördert werden, wenn diese bestehende Fernwärmenetze auf erneuerbare Energien und Abwärme umrüsten.

Der Förderansatz wird zudem an geeigneter Stelle durch Einzelmaßnahmen ergänzt. Zusätzlich wird für die Erzeugung von erneuerbaren Wärmemengen aus Solarthermieanlagen sowie aus strombetriebenen Wärmepumpen, die in Wärmenetze einspeisen, sowohl in neuen wie in zu transformierenden Wärmenetzen eine Betriebskostenförderung gewährt.

Das Förderprogramm ist in vier sog. Module untergliedert, welche die einzelnen Projektphasen zur Entwicklung einer nachhaltigen bzw. ökologisch wie ökonomisch sinnvollen Energieversorgung umfassen. Die möglichen Fördersätze unterscheiden sich je nach Modul und Umfang.

- Modul 1 bis zu 50 % (Transformationsplan / Machbarkeitsstudie / Planungsleistungen)
- Modul 2 bis zu 40 % (Systemische Förderung – Projektumsetzung)
- Modul 3 bis zu 40 % (Einzelmaßnahmen – nur Bestandsnetze)
- Modul 4 (Betriebskostenförderung Solarthermie / Wärmepumpen)

Anmerkung:

Hinsichtlich des Einsatzes von **Biomasseheizanlagen**, welche eine Feuerungswärmeleistung von **mehr als 1 MW_{th}** vorsehen sind die Vorgaben bezüglich des eingesetzten Brennstoffes aus Anhang 1 der Förderrichtlinie (Brennstoffliste) zu beachten.

Bei Nichteinhaltung der in der Brennstoffliste vorgegebenen Einsatzstoffe erfolgt keine Förderung auf Grundlage der BEW.

Detaillierte Informationen zu den förderfähigen Maßnahmen und Leistungen sowie technischen Mindestanforderungen zur Einhaltung der Förderbedingungen können online unter https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html abgerufen werden.

7.2.4.2 Förderung von Wärmenetzen nach dem KWK-G (BAFA)

Im Rahmen des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWK-G 2023) wird vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) u. a. der Neubau und Ausbau von Wärmenetzen gefördert.

Fördervoraussetzung ist unter anderem, dass spätestens 36 Monate nach der Inbetriebnahme des Netzes mindestens 75 % der Wärmeversorgung der an das Netz angeschlossenen Abnehmer in Kraft-Wärme-Kopplung nach Voraussetzungen des KWK- Gesetzes erfolgen muss (z. B. Einsatz eines BHKW).

Weiterhin ist die Erlangung dieser Investitionsbeihilfe möglich sofern ein Mindestanteil von 10 % der Wärme aus einer KWK-Anlage und insgesamt mindestens 75 % aus regenerativen Energien, industrieller Abwärme und KWK-Anlagen, bereitgestellt werden (z. B. Kombination von Biomassekessel und BHKW).

Die Regelungen im Bereich Wärme- und Kältenetze (§18 und §19) sehen folgende Fördersätze für Netze mit mindestens 75 % KWK-Anteil oder einer Kombination mit Wärme aus KWK-Anlagen, erneuerbaren Energien und industrieller Abwärme vor:

- 40 % der ansatzfähigen Investitionskosten (max. 20 Mio. € je Projekt)

Darüber hinaus wird ebenso der Neubau und die Einbindung von Wärmespeichern mit bis zu 250 €/m³Wasseräquivalent / max. 30 % der ansatzfähigen Investitionskosten (bei >50 m³Wasseräquivalent) gefördert.

Ansatzfähige Kosten sind alle Kosten, die für erforderliche Leistungen Dritter im Rahmen des Neu- oder Ausbaus von Wärmenetzen tatsächlich anfallen.

Weitere Informationen unter www.bafa.de.

7.2.4.3 Förderprogramm BioWärme-Bayern (Freistaat Bayern)

Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien und der Vermeidung von Kohlendioxidemissionen durch Biomasseheizwerke und zugehörige Wärmenetze

Zum 12. Dezember 2023 wurde die neue Förderrichtlinie des Freistaates Bayern zur Stärkung der Wärmeversorgung mit Erneuerbaren Energien, Schwerpunkt einheimische Bioenergie, in ihrer Neufassung bekannt gegeben.

Gefördert werden hierbei Investitionen in neue, umweltschonende **Biomasseheizwerke ab einer Nennleistung von 60 kW_{th}** sowie die **Errichtung von neuen, energieeffizienten Wärmenetzen oder deren Erweiterung** (bei bestehenden Wärmeverbundnetzen).

Antragsberechtigt sind natürliche Personen, juristische Personen des Privatrechts, Personengesellschaften, kirchliche Einrichtungen und juristische Personen des öffentlichen Rechts der mittelbaren Landes- und Bundesverwaltung mit eigener Rechtsträgerschaft (insbesondere kommunale Gebietskörperschaften, Anstalten, Stiftungen, Kammern).

Als Brennstoffe dürfen ausschließlich naturbelassene Holzbrennstoffe sowie naturbelassene halmgutartige Biomasse eingesetzt werden.

Art und Umfang der Förderung (Biomasseheizwerk)

Die Förderung erfolgt als Zuwendung in Form nicht rückzahlbarer Zuschüsse (Projektförderung) als Anteilfinanzierung.

Zuwendungsfähige Kosten:

Zuwendungsfähig sind die Investitionskosten des Biomasseheizwerks. Diese umfassen biomasse-spezifische Anlagenteile (Biomassekessel, Wärmespeicher, Filteranlagen, Abgaswärmetauscher, Abgaskondensationsanlagen etc.), Hydraulik, bauliche Anlagen und anteilige Planungskosten.

Bei der Errichtung oder Erweiterung eines Wärmenetzes umfassen die zuwendungsfähigen Investitionskosten die Haupt- und Hausanschlussleitungen sowie die Hausübergabestationen für Bestandsgebäude.

Umfang der Förderung:

Die Beihilfeintensität beträgt für Investitionen in neue umweltschonende Biomasseheizwerke höchstens 20 Prozent der zuwendungsfähigen Kosten, bei mittleren Unternehmen (gemäß Anhang I AGVO) beträgt die Beihilfeintensität nach diesen Richtlinien höchstens 25 Prozent, bei kleinen Unternehmen (gemäß Anhang I AGVO) höchstens 30 Prozent der zuwendungsfähigen Kosten.

Zusätzlich zur genannten Grundförderung sind kumulierbare Zusatzförderungen innerhalb der Richtlinie möglich, welche sich u. a. auf die Punkte „Fuel-Switch“ (fossil → erneuerbar; +10 %), Kombination mit Solarthermieanlagen oder / und Wärmepumpen (+10 %) sowie Biomasseanlagen mit Abgaswärmetauscher oder Abgaskondensationsanlagen (+5 %) möglich.

Die Förderung des zugehörigen Wärmenetzes beträgt max. 100 € pro Meter neuerrichteter Wärmetrasse, die Förderung pro Hausübergabestation für Bestandsgebäude beträgt max. 1.800 €, maximal 100 % der zuwendungsfähigen Kosten.

Eine Kumulierung mit anderen Förderprodukten ist im Einzelfall im Zuge einer detaillierten Vorplanung zu prüfen, generell jedoch nicht ausgeschlossen. Durch eine Mehrfachförderung für denselben Förderzweck sind zulässig, wenn die maximale Beihilfeintensität höchstens 45 % (55 % bzw. 65 % in Abhängigkeit der Unternehmensgröße) beträgt.

Die zu berücksichtigende Förderobergrenze für Biomasseheizwerke beträgt 350.000 €. Die Förderobergrenze für zugehörige Wärmenetze beträgt 100.000 €. Werden Biomasseheizwerke und

zugehörige Wärmenetze gefördert, so beträgt die Förderobergrenze insgesamt 450.000 €. Die Bagatellgrenze beträgt grundsätzlich 5.000 €.

Antragstellung und Bewilligungsbehörde

Bewilligungsbehörde ist das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe

Schulgasse 18

94315 Straubing

Tel.: 09421 300-210

Internet: www.tfz.bayern.de

E-Mail: foerderung@tfz.bayern.de

Anträge auf Förderung sind mittels der auf der Internetseite der Bewilligungsbehörde zum Download zur Verfügung gestellten Vordrucke zu stellen und digital beim TFZ einzureichen.

Ein Maßnahmenbeginn ist zwingend erst nach Erhalt des (vorläufigen) Bewilligungsbescheides möglich (andernfalls vorzeitiger Maßnahmenbeginn mit Verfall der Förderfähigkeit).

7.3 Detailprojekt – PV-Betrachtung Schule und Bauhof

Im Zuge der Erstellung des digitalen Energienutzungsplans für die Stadt Windsbach wurde als ein Detailprojekt eine Betrachtung hinsichtlich der Rentabilität des Weiterbetriebs der bestehenden Photovoltaikanlagen auf der Grund- und Mittelschule sowie des Bauhofs untersucht. Zudem wurde in einer weiteren Untersuchung eine Neuanlage auf den noch freien Dachflächen der Grund- und Mittelschule betrachtet.

7.3.1 Bauhof

Auf den Gebäuden des Bauhofs befinden sich drei Photovoltaikanlagen, deren Förderung Ende 2025 ausläuft. Alle drei Anlagen liefern einen für das Betriebsalter verhältnismäßig guten Stromertrag, weshalb ein Weiterbetrieb in Form einer Umstellung auf Eigenverbrauch zunächst sinnvoll erscheint. Des Weiteren befindet sich die Pumpstation auf dem gleichen Grundstück (siehe gelb markiertes Gebäude in Abbildung 1), womit der Stromverbrauch des Bauhofs und der Pumpstation gedeckt werden könnte. Dieser beläuft sich in Summe auf knapp 96.000 kWh.

Die drei Bestandsanlagen auf den Gebäuden des Bauhofs (rot markierte Gebäude in Abbildung 1) weisen in Summe eine Leistung von knapp 61 kW_p auf.



Abbildung 36: Luftbild des Bauhofs in Windsbach [Quelle: geoportal.bayern.de]

Wie bereits vorher erwähnt läuft die Förderung in Form der Einspeisevergütung für die derzeit volleinspeisenden Anlagen zum 31.12.2025 aus. Aktuell gibt es für derartige Anlagen eine Anschlussförderung

bis zum 31.12.2027, in welcher der eingespeiste Strom direktvermarktet werden kann. Die Höhe des Werts orientiert sich an dem sogenannten Marktwert Solar, welcher den Durchschnitt des an der Strombörse gehandelten Preises abbildet. Da momentan noch nicht festgelegt ist wie ein förderfähiger Weiterbetrieb nach dem Jahr 2027 geregelt wird, wird in dieser Betrachtung beim eingespeisten Strom nur bis zum 31.12.2027 kalkuliert. Da der Eigenverbrauch ohnehin möglich ist, wird insgesamt eine Kalkulationszeitspanne von zehn Jahren angesetzt (Jahre 2026-2035). Somit werden die Einnahmen in den ersten beiden Jahren aus den vermiedenen Strombezugskosten und der eingespeisten Strommenge entstehen. In den acht darauffolgenden Jahren nur noch aus der vermiedenen Bezugsmenge.

Hinweis: Dies gilt analog für Kapitel 7.3.2 Grund- und Mittelschule.

Annahmen

Im Zuge der Berechnung wurden Annahmen getroffen, die nun im Folgenden beschrieben werden:

Moduldegradation: Beschreibt die jährliche Leistungsminderung der PV-Module bedingt durch den Alterungsprozess. Bei älteren Anlagen ist diese im Vergleich zu neuen höher, in diesem Fall wurde ein Wert von 2% pro Jahr angenommen.

Eigenverbrauchsanteil: Beschreibt das Verhältnis des durch die PV-Anlagen gedeckten Stroms zur gesamt erzeugten Menge. Dieser wurde anhand von Standarderzeugungsprofilen für PV-Anlagen und Standardlastprofilen für Gebäude ermittelt.

Gesamtkosten: Beschreibt die Summe aus den Investitionskosten und den laufenden Kosten. Ersteres beinhaltet beispielsweise Kosten für einen Anlagencheck oder einen Wechselrichtertausch. Die laufenden Kosten umfassen unter anderem Versicherungskosten.

Vergütungssatz: Beschreibt die Höhe der Vergütung für den ins Netz eingespeisten Strom, welcher direktvermarktet wird und sich am Marktwert Solar orientiert. Da dieser sehr schwankend sein kann, wurde für diese Betrachtung ein Wert von 7 ct/kWh angenommen. Hiervon werden noch 0,4 ct/kWh an Kosten für den Direktvermarktungsaufwand seitens des Netzbetreibers abgezogen. Somit beträgt die Nettovergütung 6,6 ct/kWh.

Strompreis: Beschreibt den prognostizierten Strompreis der Liegenschaft. Dieser wird als Einnahme gegengerechnet, da durch den Eigenverbrauch der PV-Anlage Strombezug aus dem Netz vermieden wird.

Hinweis: Alle Annahmen gelten analog für Kapitel 7.3.2 Grund- und Mittelschule.

Ergebnisse

Folgende Ergebnisse wurden im Rahmen der Kalkulation über einen Betrachtungszeitraum von zehn Jahren errechnet:

- Anlagenleistung: 61,1 kW_p
- Stromertrag: 496.550 kWh
 - Davon Stromeigennutzung: 322.790 kWh (jährlich ca. 65%)
 - Davon Stromeinspeisung: 20.610 kWh (nur die ersten beiden Jahre)
- Durchschn. vermiedene Stromkosten: 8.070 Euro/a
- Durchschn. Erlöse Stromeinspeisung: 1.360 Euro/a (6,6 ct/kWh netto)
- Durchschn. Gesamtausgaben: 530 Euro/a

7.3.2 Grund- und Mittelschule

Auf dem Schultrakt der Grund- und Mittelschule befindet sich ebenfalls eine Bestandsanlage, deren Förderung Ende 2025 ausläuft. Im Rahmen der Datenerhebung war ersichtlich, dass sich die PV-Anlage in einem guten Zustand befindet. Das Schulgebäude hat einen Stromverbrauch von knapp 50.000 kWh. Daneben befinden sich noch einige freie Dachflächen, die in einer weiteren Variante mit untersucht werden. In Abbildung 2 sind die jeweiligen Flächen der Anlagen farblich markiert. Die rote Markierung umfasst den Bereich der Bestandsanlage, die grünen Flächen symbolisieren eine potenzielle Neuanlage, die im zweiten Schritt mit betrachtet wird.

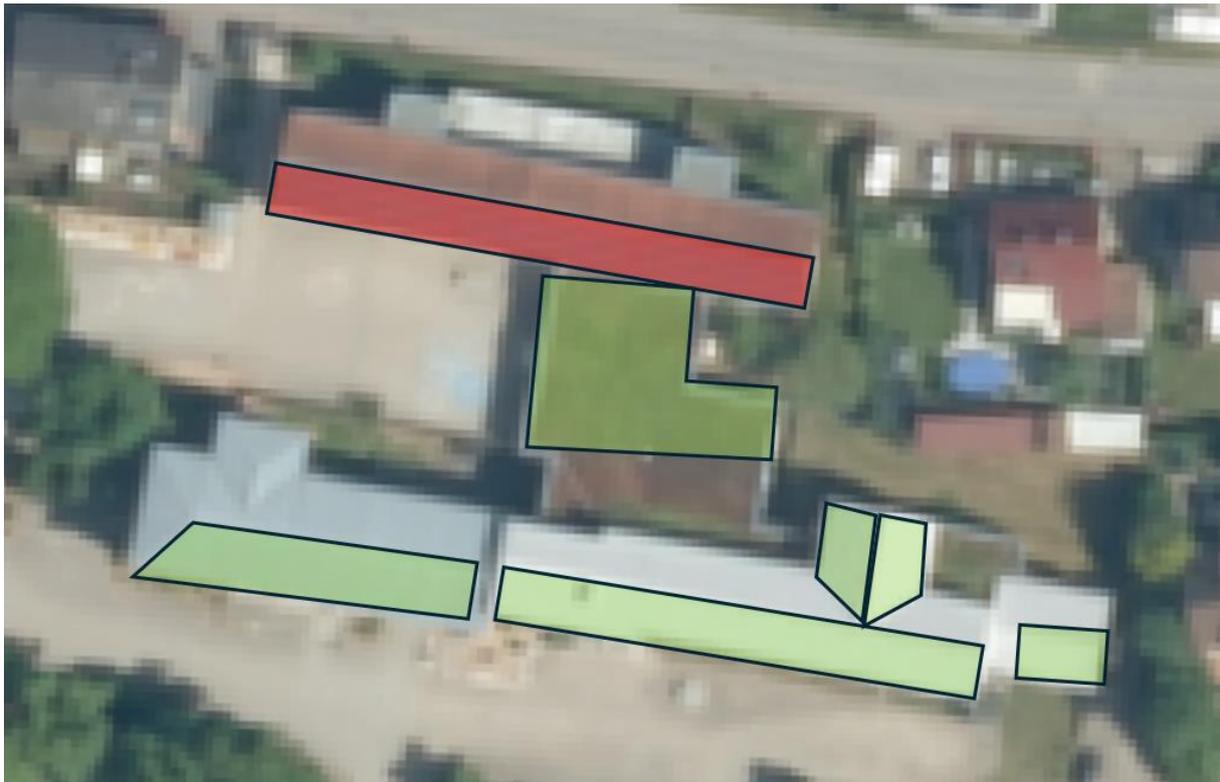


Abbildung 37: Luftbild der Grund- und Mittelschule mit markierten Dachflächen [Quelle: geoportal.bayern.de]

7.3.2.1 Bestandsanlage

Die bereits bestehende Anlage auf dem Schulgebäude besitzt eine Leistung von 30,68 kW_p. Wie bereits erwähnt, ist auch in diesem Fall der Ertrag im Verhältnis zum Alter der Anlage noch gut, weshalb eine Umstellung auf Eigenverbrauch naheliegt. Durch die tagsüber genutzten Räumlichkeiten, ähnlich wie bei einem Bürogebäude, kann ein nicht unerheblicher Teil des erzeugten Stroms direkt verbraucht werden.

Ergebnisse

Folgende Ergebnisse wurden im Rahmen der Kalkulation über einen Betrachtungszeitraum von zehn Jahren errechnet:

- Anlagenleistung: 30,68 kW_p
- Stromertrag: 245.520 kWh
 - Davon Stromeigennutzung: 187.720 kWh (jährlich ca. 75%)
 - Davon Stromeinspeisung: 13.210 kWh (nur die ersten beiden Jahre)

- Durchschn. vermiedene Stromkosten: 4.700 Euro/a
- Durchschn. Erlöse Stromeinspeisung: 440 Euro/a (6,6 ct/kWh netto)
- Durchschn. Gesamtausgaben: 540 Euro/a

7.3.2.2 Bestandsanlage + Neuanlage

In dieser Variante wurde die bestehende Anlage um eine neue Anlage auf den verfügbaren Dachflächen ergänzt. Unter vorläufiger Berücksichtigung von Verschattungen wurde eine Gesamtleistung von 109,7 kW_p für die Neuanlage simuliert. Zusammen mit der Bestandsanlage ergibt sich eine kombinierte Leistung von 140,38 kW_p. Für die wirtschaftliche Bewertung wird ein Zeitraum von 20 Jahren angenommen, der sich nach der Förderdauer für neue PV-Anlagen richtet (2025-2044). Innerhalb dieses Zeitraums ist ebenfalls die Umstellung der Bestandsanlage auf Eigenverbrauch vorgesehen (2026-2035).

Ergebnisse

Die kombinierten Leistungen der Anlagen von 2026 bis 2035 setzen sich wie folgt zusammen, während für die restlichen Jahre ausschließlich die Werte der Neuanlage berücksichtigt werden:

- Anlagenleistung: 109,7 kW_p (bzw. 140,38 kW_p)
- Stromertrag: 2.494.340 kWh
 - Davon Stromeigennutzung: 680.840 kWh (jährlich ca. 30%)
 - Davon Stromeinspeisung: 1.813.500 kWh
- Durchschn. vermiedene Stromkosten: 8.500 Euro/a
- Durchschn. Erlöse Stromeinspeisung: 6.000 Euro/a (Ø 6,65 ct/kWh netto)
- Durchschn. Gesamtausgaben: 9.100 Euro/a

7.3.3 Fazit

Das Detailprojekt zur Betrachtung der Photovoltaikanlagen auf den Gebäuden der Grund- und Mittelschule sowie des Bauhofs der Stadt Windsbach zeigt deutlich das Potenzial für nachhaltige Energieerzeugung und Kosteneinsparungen durch die Umstellung auf Eigenverbrauch nach Auslauf der Einspeisevergütung. Durch die fortgesetzte Nutzung der bestehenden Anlagen und die Erweiterung um Neuanlagen auf den verfügbaren Dachflächen konnte eine signifikante Steigerung der Gesamtleistung und des Stromertrags erreicht werden.

Für den Bauhof ergibt sich durch die drei bestehenden Anlagen eine solide Basis für eine umweltfreundliche Stromversorgung, die insbesondere in Kombination mit der Pumpstation die Eigenverbrauchsquoten optimiert. Die Kalkulation zeigt, dass über den Betrachtungszeitraum von zehn Jahren (2026-2035) erhebliche Kosten für Strombezug vermieden werden können, was die Wirtschaftlichkeit der Anlagen unterstreicht.

An den Schulgebäuden ermöglicht die Kombination aus bestehender und neuer Anlage eine maximale Nutzung der solaren Potenziale der Liegenschaft. Die Berechnungen prognostizieren, dass die erweiterte Anlage von 2026 bis 2035 erheblich zum Eigenverbrauch beitragen und dadurch Betriebskosten effektiv senken wird.

Das Projekt illustriert erfolgreich, wie durch gezielte Maßnahmen und Investitionen in Photovoltaik die Energiekosten gesenkt, die Umweltbelastung reduziert und die Energieeffizienz von öffentlichen Einrichtungen verbessert werden können. Die Ergebnisse dienen als fundierte Entscheidungsgrundlage für die Stadt Windsbach zur weiteren Förderung und Nutzung erneuerbarer Energien.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse die finanzielle und ökologische Sinnhaftigkeit des Weiterbetriebs und des Ausbaus der Photovoltaikanlagen auf den Gebäuden der Stadt Windsbach. Sie bieten eine klare Perspektive für zukünftige Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit städtischer Infrastrukturen.

8 Zusammenfassung

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

In einer umfassenden Bestandsaufnahme wurde zunächst detailliert die Energiebilanz für die Sektoren Wärme, Strom und Verkehr im Ist-Zustand (Bilanzjahr 2021) erfasst und der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung ermittelt. Die Berechnungen zeigen, dass bilanziell bereits rund 104 % Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, was bereits eine sehr gute Ausgangslage darstellt. Den größten Anteil daran haben die Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen mittels Biogas und die drei Windkraftanlagen, die im Betrachtungsgebiet installiert sind. Auch die Stromproduktion durch Aufdach-Photovoltaikanlagen ist im Vergleich zu Kommunen mit ähnlicher Einwohnerzahl überdurchschnittlich hoch.

Die Wärmeerzeugung erfolgt zu rund 55 % aus fossilen Energiequellen bestehend aus Heizöl und Erdgas. Allerdings werden bereits rund 44 % des Wärmebedarfs durch regenerative Energieträger gedeckt. Hier wird vor allem Biomasse eingesetzt, was unter anderen auf den verstärkten Einsatz von Holz im Sektor Gewerbe und Industrie zurückzuführen ist.

Sämtliche Energieverbrauchsdaten wurden gebäudescharf erfasst und in ein gebäudescharfes Wärmekataster überführt. Das gebäudescharfe Wärmekataster ist ein Werkzeug der kommunalen Wärmeplanung und beinhaltet zu jedem Gebäude Informationen zu Nutzung, Baustruktur und Wärmebedarf.

Auf Basis der energetischen Ausgangssituation wurde eine umfassende Potenzialanalyse zur Minderung des Energieverbrauchs und zum Ausbau erneuerbarer Energien ausgearbeitet. Für die Potenzialanalyse zur energetischen Sanierung wurde ein gebäudescharfes Sanierungskataster erstellt. Für jedes Gebäude stellt das Sanierungskataster die mögliche Energieeinsparung für definierte Sanierungsvarianten bzw. Sanierungstiefen dar.

Im Bereich der regenerativen Stromerzeugung besteht das größte Ausbaupotenzial aus der solaren Stromerzeugung auf Dachflächen und Freiflächen sowie in der verstärkten Nutzung der Windkraft. Durch den weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung könnten die bilanziellen Überschüsse durch den Einsatz von Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung genutzt werden und den Bedarf an Heizöl mindern. Zudem könnte der Stromüberschuss für den künftig ansteigenden Bedarf an Strom für die Elektromobilität / H2-Mobilität genutzt werden. Des Weiteren ergeben sich durch

Sektorenkopplung und den gezielten Einsatz von Elektrolyseuren zur Wasserstoffproduktion („Speicher“) zukünftig weitere Potenziale.

Aufbauend auf die Potenzialanalyse erfolgte die Ausarbeitung dreier Energieszenarien für das Jahr 2040. Die Energieszenarien zeigen, dass im Stadtgebiet Windsbach generell gute Voraussetzungen vorliegen, um eine bilanzielle Energieversorgung aus regionalen erneuerbaren Energien (in Verbindung mit klugen Speichertechnologien) zu ermöglichen, wenn dementsprechende Maßnahmen umgesetzt werden. Dies ist insbesondere durch die hohen Potenziale an Photovoltaik-Freiflächen und Windkraftanlagen zu begründen.

Als Ergebnis des Energienutzungsplans konnte ein Maßnahmenkatalog mit konkreten Projektideen für die Stadt Windsbach erarbeitet werden. Es wird empfohlen diese Projektideen in enger Zusammenarbeit mit den relevanten Akteuren zu prüfen und die nächsten Schritte abzustimmen. Einzelne Projekte aus dem Maßnahmenkatalog wurden als Schwerpunktprojekte näher betrachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Umstellung auf Eigennutzung von PV-Strom im Bauhof sowie in der Grund- und Mittelschule und der weitere Ausbau mit Photovoltaikanlagen auf den noch freien Dachflächen der Schule sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Perspektive vorteilhaft wäre. Zudem hat sich ergeben, dass ein mögliches Wärmenetz in der Altstadt Potenziale aufzeigt. Die Durchführung einer detaillierten Machbarkeitsstudie mit Förderung durch die BEW ist zu empfehlen. Auch auf der Kläranlage konnten Einsparpotenziale im Wesentlichen in Bezug auf die weitere Eigenstromversorgung durch PV-Anlagen und Biogas-BHKW identifiziert werden. Hier wird ebenso eine detailliertere Betrachtung im Rahmen einer Energie- und Potenzialstudie empfohlen.

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

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anonymisierter Ausschnitt eines gebäudescharfen Wärmekatasters	9
Abbildung 2: Exemplarischer Ausschnitt zur Darstellung der Wärmedichte auf Grundlage des gebäudescharfen Wärmekatasters der Stadt Windsbach	10
Abbildung 3: Wärmebedarf im Jahr 2021 - Verbrauchergruppen.....	11
Abbildung 4: Wärmeverbrauch im Jahr 2021 - Energieträger.....	12
Abbildung 5: Strombezug im Jahr 2021 - Verbrauchergruppen.....	13
Abbildung 6: Stromverbrauch im Jahr 2021 – Bilanzieller Mix	14
Abbildung 7: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet [Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de), Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, eigene Bearbeitung] Hinweis: Das Bilanzjahr ist 2021, später errichtete Anlagen sind nicht abgebildet.	15
Abbildung 8: Endenergieverbrauch nach Verkehrsbereichen im Sektor "Verkehr" in Deutschland im Jahr 2021. Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 303; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.)	16
Abbildung 9: Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor Verkehr in Deutschland im Jahr 2021. Datenbasis nach "Verkehr in Zahlen 2022/2023", S. 304; Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.).....	17
Abbildung 10: Endenergieeinsatz aufgeschlüsselt nach den Verbrauchergruppen	18
Abbildung 11: Anonymisierter Ausschnitt eines Sanierungskatasters vor und nach der Sanierung (Szenario: 2 % Sanierungsrate bis zum Jahr 2040).....	23
Abbildung 12: Standardisierter Kriterienkatalog.....	29
Abbildung 13: Ergebnis der Potenzialanalyse der Photovoltaik-Freiflächen im Betrachtungsgebiet mit einer Gesamtfläche von 1.179 ha (gelbe Flächen).....	30
Abbildung 14: Ergebnis der GIS-Analyse der potenziellen Flächen für Windkraftanlagen mit insgesamt rund 700 ha.....	32
Abbildung 15: Standorteignung oberflächennahe Geothermie mit einer Darstellung des thermischen Energiebedarfs in Form einer Heatmap (Energieatlas Bayern; eigene Bearbeitung)	36
Abbildung 16: Energieszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung.....	37

Abbildung 17: Energieszenario 2021 bis 2040 - Ausbauszenario erneuerbarer Energien im Strombereich.....	38
Abbildung 18: Energieszenario im Jahr 2040 – Gegenüberstellung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energien.....	39
Abbildung 19: Energieszenario 2040 - Resultat eines Szenarios mit zusätzlich zwei Windkraftanlagen und Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf rund 34 ha.	40
Abbildung 20: Energieszenario 2040 - Resultat eines Szenarios mit zusätzlich fünf Windkraftanlagen und Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf rund 68 ha.	41
Abbildung 21: Luftbild Kläranlage Windsbach (Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de)	46
Abbildung 22: jährlicher Stromverbrauch der Kläranlage.....	47
Abbildung 23: Lastgang Netzbezug 2022	48
Abbildung 24: Spezifischer Stromverbrauch	49
Abbildung 25: Spezifischer Gesamtstrombedarf	49
Abbildung 26: Auszug aus dem Wärmekataster – Altstadt (Quelle: Online-GIS mit Open-Street-Map Layer; Bearbeitung: IfE GmbH).....	52
Abbildung 27: Auszug aus dem Wärmekataster – Vorstadt (Quelle: Online-GIS mit Open-Street-Map Layer; Bearbeitung: IfE GmbH).....	52
Abbildung 28: betrachteter Gebietsumgriff für das Wärmenetz im Altstadtbereich der Stadt Windsbach (Quelle: Stadt Windsbach; Bearbeitung: IfE GmbH; Lageplanauszug)	54
Abbildung 29: Verteilung des monatlichen Wärmebedarfs im Gebietsumgriff Altstadt (60 % AQ)	55
Abbildung 30: Darstellung der thermischen Jahresdauerlinie im Gebietsumgriff Altstadt (60 % AQ).....	56
Abbildung 31: Darstellung möglicher Versorgungslösung 1.0 – Altstadt	57
Abbildung 32: Darstellung möglicher Versorgungslösung 2.0 – Altstadt	57
Abbildung 33: betrachteter Gebietsumgriff für das Wärmenetz im Ortsteil „Vorstadt“ der Stadt Windsbach (Quelle: Stadt Windsbach; Bearbeitung: IfE GmbH; Lageplanauszug)	59
Abbildung 34: Verteilung des monatlichen Wärmebedarfs im Gebietsumgriff Vorstadt (60 % AQ).....	60
Abbildung 35: Darstellung der thermischen Jahresdauerlinie im Gebietsumgriff Vorstadt (60 % AQ).....	61

Abbildung 36: Luftbild des Bauhofs in Windsbach	68
Abbildung 37: Luftbild der Grund- und Mittelschule mit markierten Dachflächen [Quelle: geoportal.bayern.de]	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die CO ₂ -Äquivalente der jeweiligen Energieträger [GEMIS 4.9; KEA; Berechnungen IfE]	19
Tabelle 2: Kennzahlen Wärmeverbund Altstadt (Gesamtwärmebedarf 100% AQ / 60% AQ)	53
Tabelle 3: exemplarische Versorgungslösungen im Bereich der Altstadt	57
Tabelle 4: Kennzahlen Wärmeverbund Vorstadt (Gesamtwärmebedarf 100% AQ / 60% AQ)	58