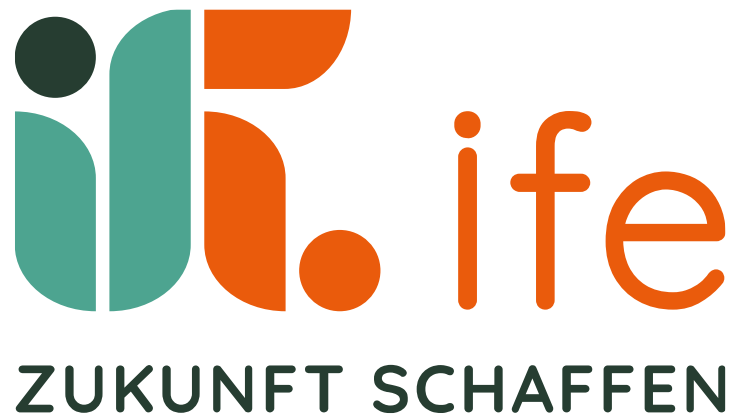
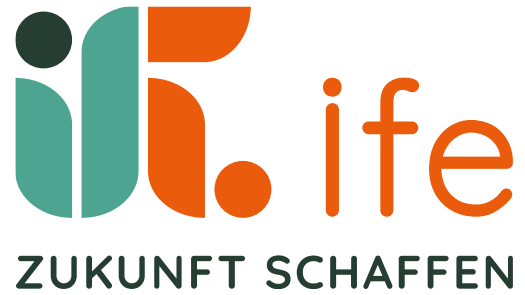




DIGITALER ENERGIENUTZUNGSPLAN

für den
Landkreis Lichtenfels

Institut für Energietechnik IfE GmbH
Kaiser-Wilhelm-Ring 23a
92224 Amberg



DIGITALER ENERGIEENTZUGSPLAN

für den Landkreis Lichtenfels

Auftraggeber:

Landkreis Lichtenfels

Kronacher Straße 30

96215 Lichtenfels

Auftragnehmer:

Institut für Energietechnik IfE GmbH

an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Kaiser-Wilhelm-Ring 23a

92224 Amberg

Gefördert durch das

Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bearbeitungszeitraum:

August 2023 bis Februar 2025

Autoren:

Daniel Schafberger - Christoph Reindl | Maximilian Schinhammer - Anna Schneidewind -

Larissa Koller

Bereiche: Kommunale Projekte | Sektorkopplung & Innovation

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	8
2 Projektablauf und Akteursbeteiligung	9
2.1 Projektphasen	9
2.2 Abstimmung mit allen relevanten Akteuren	10
2.3 Visualisierung wesentlicher Ergebnisse in einem Geoinformationssystem (GIS)	11
3 Analyse der energetischen Ausgangssituation	12
3.1 Methodik und Datengrundlage	12
3.1.1 Definition der Verbrauchergruppen	12
3.1.2 Datengrundlage und Datenquellen	13
3.2 Energieinfrastruktur	15
3.2.1 Stromnetz	15
3.2.2 Gasnetze	16
3.2.3 Wärmenetze	16
3.3 Sektor Wärme	17
3.3.1 Gebäudescharfes Wärmekataster	17
3.3.2 Wärmeverbrauch und Anteil erneuerbarer Energien	19
3.4 Sektor Strom	21
3.5 Sektor Verkehr	25
3.6 Gesamtenergie- und Treibhausgas-Bilanz im Ist-Zustand	29
3.7 Entwicklung seit Klimaschutzkonzept	35
4 Potenzialanalyse	39
4.1 Grundannahmen	39

4.1.1	Betrachtungszeitraum.....	39
4.1.2	Demographie/Struktur der Wirtschaft.....	39
4.1.3	Potenzialbegriff.....	39
4.2	Potenziale zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz.....	41
4.2.1	Gebäudescharfes Sanierungskataster.....	41
4.2.2	Private Haushalte.....	42
4.2.3	Kommunale Liegenschaften	42
4.2.4	Wirtschaft	43
4.3	Transformationsprozesse	43
4.3.1	Transformationsprozesse Wärmepumpen (Power to Heat).....	44
4.3.2	Transformationsprozesse Verkehrssektor.....	46
4.3.3	Transformationsprozesse Wasserstoffwirtschaft	54
4.4	Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien.....	60
4.4.1	Photovoltaik-Aufdach	60
4.4.2	Solarthermie	62
4.4.3	Photovoltaik-Freifläche.....	63
4.4.4	Windkraft	68
4.4.5	Biogasanlagen	70
4.4.6	Holzartige Biomasse	72
4.4.7	Wasserkraft	75
4.4.8	Geothermie.....	78
4.4.9	Abwärme	81
4.4.10	Kraft-Wärme-Kopplung	82
5	Energieszenario 2040.....	84
5.1	Energieszenario 2040	85
5.2	Alternativszenario – CO ₂ -Neutralität	89

6	Maßnahmenkatalog	93
7	Schwerpunktprojekte	127
7.1	Energiekonzept für die Deponie Oberlangheim	127
7.2	Klärschlammverbund	129
7.2.1	Einleitung	129
7.2.2	Technische Möglichkeiten der Klärschlammverwertung	130
7.2.3	Klärschlammfäulung	131
7.2.4	Klärschlammmentwässerung	132
7.2.5	Klärschlamm Trocknung	133
7.2.6	Klärschlamm(-mono)verbrennung	135
7.2.7	Alternative Verwertungsmöglichkeiten	137
7.2.8	Aufbau einer fundierten Datengrundlage	140
7.2.9	Stand und Potenzial der Klärschlammfäulung	145
7.2.10	Definition einer Entwässerungsstruktur	149
7.2.11	Potenzial zur Klärschlamm Trocknung	152
7.2.12	Möglichkeiten der Klärschlammverwertung	154
7.2.13	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	158
7.2.14	Ökologische Betrachtung	171
7.2.15	Zusammenfassung und Ausblick	175
7.3	Elektrolyse: Wasserstofferzeugung	179
7.3.1	Einleitung	179
7.3.2	Rahmenbedingungen	181
7.3.3	Förderprogramme	193
7.3.4	Vorgehen innerhalb des Wasserstoffkonzepts	195
7.3.5	Potenziale und Ergebnisse	198
7.3.6	Wirtschaftlichkeit	205

7.3.7 Zusammenfassung	212
8 Zusammenfassung.....	215
9 Literaturverzeichnis.....	218
Anhang.....	223

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einteilung der Fahrzeugklassen im Straßenverkehr in Gruppen.....	13
Abbildung 2:	Anonymisierter Ausschnitt eines gebäudescharfen Wärmekatasters	18
Abbildung 3:	Auszug der Heatmap - Stadt Lichtenfels [Bayerische Vermessungsverwaltung; eigene Darstellung]	18
Abbildung 4:	Wärmeverbrauch im Jahr 2021 nach Verbrauchergruppen.....	19
Abbildung 5:	Wärmeverbrauch im Jahr 2021 – kommunenscharf	19
Abbildung 6:	Wärmeverbrauch im Jahr 2021 nach Energieträger.....	20
Abbildung 7:	Strombezug im Jahr 2021 nach Verbrauchergruppen.....	21
Abbildung 8:	Strombezug im Jahr 2021 – kommunenscharf	21
Abbildung 9:	Stromeinspeisung im Jahr 2021 – Einspeisemix	22
Abbildung 10:	Kommunenscharfe Gegenüberstellung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs.....	23
Abbildung 11:	Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet (Energie-Atlas Bayern) [1] eigene Bearbeitung)	24
Abbildung 12:	Anzahl und Anteil der Fahrzeuge in den jeweiligen Fahrzeugklassen, vgl. auch Tabelle 1 [3]	27
Abbildung 13:	Energieverbrauch im Sektor Verkehr nach Gruppen (Angelehnt an [3])	28
Abbildung 14:	Anzahl und Anteil der PKW nach Kraftstoffen [3]	28
Abbildung 15:	Endenergie aufgeschlüsselt nach Verbrauchergruppen	29
Abbildung 16:	Jährliche CO ₂ -Emissionen nach Energieträger im Landkreis	32
Abbildung 17:	Jährliche CO ₂ -Emissionen nach Sektoren im Landkreis	33
Abbildung 18:	Jährliche CO ₂ -Emissionen pro Einwohner nach Kommunen im Landkreis.....	34
Abbildung 19:	Gesamtstrombezug der Kommunen in den Jahren 2010 und 2021	36
Abbildung 20:	Gesamtstrombezug des Landkreises in den Jahren 2010 und 2021	36

Abbildung 21: Endenergie Fossile Kraftstoffe des Landkreises in den Jahren 2010 und 2021	37
Abbildung 22: Entwicklung der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK in den Jahren 2010 und 2021	38
Abbildung 23: Anonymisierter Ausschnitt eines Sanierungskatasters vor und nach der Sanierung (Szenario: jährliche Sanierungsrate von 2% bis zum Jahr 2040).....	41
Abbildung 24: Prämissen für die Szenarien im Sektor Verkehr	46
Abbildung 25: Endenergiebedarf im Sektor Verkehr im Zieljahr 2040 nach Szenario und Energieträger	48
Abbildung 26: Wasserstoffbedarfe im Mittelweg-Szenario 2040 gruppiert in die Segmente Nutzfahrzeuge, Öffentlicher Personenverkehr und Motorisierter Individualverkehr	50
Abbildung 27: Entwicklung des Bestands an batterieelektrischen und Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen im Verlauf und im Trend bis 2035 (Eigene Abbildung in Anlehnung an [31]).....	51
Abbildung 28: Zusätzlicher Bedarf an öffentlicher Ladeleistung bis 2035 im Referenzszenario des StandortTOOLS (Eigene Abbildung in Anlehnung an [31]).....	52
Abbildung 29: Bedarfe an Ladeleistung für das Zieljahr 2030 [31].....	53
Abbildung 30: Bedarfe an Ladeleistung für das Zieljahr 2035 [31].....	53
Abbildung 31: Landkreisweite Wasserstoffabsatzpotenziale zur vollständigen Substitution fossiler Energieträger bei den Unternehmen im Landkreis. 55	
Abbildung 32: Georeferenzierte Darstellung der möglichen Wasserstoffabnehmer nach der Datenerfassung.....	57
Abbildung 33: Wasserstoffhochlauf im Landkreis Lichtenfels bis 2040.....	59
Abbildung 34: Auszug aus dem Solarpotenzialkataster [33]	61

Abbildung 35: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Solarstrom auf Dächern im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.	62
Abbildung 36: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Solarthermie im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.....	63
Abbildung 37: Auszug des Kriterienkatalogs für PV-Freiflächen.....	65
Abbildung 38: Potenzialgebiete gemäß Kriterienkatalog.....	67
Abbildung 39: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von PV-Strom aus Freiflächen im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.	68
Abbildung 40: Technisches Potenzial der GIS-Analyse	69
Abbildung 41: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Strom aus Windkraft im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.	70
Abbildung 42: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von holzartiger Biomasse im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.	75
Abbildung 43: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Strom aus Wasserkraft im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.	77
Abbildung 44: Verschneidung der Heatmap des Wärmekatasters mit dem Potenzial oberflächennaher Geothermie [Bayerische Vermessungsverwaltung].....	80
Abbildung 45: Darstellung der Gebiete mit potenziellen Standorten für den Einsatz von KWK-Anlagen.	83
Abbildung 46: Energieszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung	85
Abbildung 47: Energieerzeugung 2021 - 2040 Entwicklung der Energieerzeuger.....	86
Abbildung 48: Energieszenario - Vergleich des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung 2021 – 2040	87

Abbildung 49: Prognostizierte Entwicklung der CO ₂ -Emissionen im Landkreis (2021–2040).....	88
Abbildung 50: Alternativszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung.....	89
Abbildung 51: Alternativszenario - Energieerzeugung 2021 - 2040 Entwicklung der Energieerzeuger.....	90
Abbildung 52: Alternativszenario - Vergleich des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung 2021	91
Abbildung 53: Alternativszenario - Prognostizierte Entwicklung der CO ₂ -Emissionen im Landkreis (2021–2040).....	92
Abbildung 54: Klärschlammverwertung in Bayern 2021	129
Abbildung 55: Zusammenhang zwischen Klärschlammmenge und TS-Gehalt	131
Abbildung 56: Beispiele einer Schneckenpresse zur stationären Klärschlammentwässerung der Hersteller IEA (links) und Huber (rechts) (Quelle: IEA Derflinger und Huber SE)	132
Abbildung 57: Entwässerungskonzept.....	133
Abbildung 58: Solar- und Bandtrockner (Quelle: Thermo-System, Huber SE).....	134
Abbildung 59: Schema einer Trocknungsanlage	135
Abbildung 60: Übersicht über vorhandene und geplante thermische und stoffliche Verwertungsmöglichkeiten in Bayern	136
Abbildung 61: Der OxFA-Prozess.....	140
Abbildung 62: Kläranlagenstruktur im Landkreis Lichtenfels.....	141
Abbildung 63: Klärschlammanfall nach Größenklassen.....	142
Abbildung 64: Aktuelle Entwässerungsstrukturen in den Kommunen.....	143
Abbildung 65: Klärschlammverwertung im Landkreis Lichtenfels 2022.....	144
Abbildung 66: Klärschlammverwertungskosten im Landkreis Lichtenfels	145
Abbildung 67: Bestand und Potenzial der Klärschlammfäulung	146

Abbildung 68: Potenzielles Cluster für die Zusammenarbeit bei der Klärschlammfaulung.....	147
Abbildung 69: Künftige Standorte mit potenzieller Entwässerung im Landkreis Lichtenfels	151
Abbildung 70: Theoretische Standorte zur Klärschlamm Trocknung.....	153
Abbildung 71: Verwertungspreise 2020 - 2022 in den betrachteten Kommunen	159
Abbildung 72: Jährliche Fahrtstrecken zur Klärschlammverwertung.....	161
Abbildung 73: Jährliche und Spezifische Klärschlammverwertungskosten.....	165
Abbildung 74: Kosten und Erlöse der Wasserstofferzeugungsanlage	168
Abbildung 75: Kosten und Erlöse der Klärschlampyrolyse	170
Abbildung 76: Treibhausgaseinsparpotenzial durch Klärschlammtransport	172
Abbildung 77: Einsparung von CO ₂ -Äquivalenten durch Klärschlammfaulung	174
Abbildung 78: Genehmigter Verlauf des deutschen Wasserstoffkernnetz (Planungsstand: 22.10.2024) [42]	180
Abbildung 79: Kriterien für die Erzeugung von grünem Wasserstoff gemäß des delegierten Rechtsakts der RED II und der 37. BImSchV.	186
Abbildung 80: 1,25 MW _{el} PEM-Elektrolyseur (links) mit Wasseraufbereitung (rechts) beim realen Betrieb in der Stadt Haßfurt [48].....	188
Abbildung 81: Abfüllstation mit Logistikkomponenten für die Wasserstoffproduktion und Auslieferung [54].....	192
Abbildung 82: Wasserstoffverbrennungsmotor (Wasserstoff-BHKW).....	192
Abbildung 83: Betrachtungsraum der GIS-basierten Wasserstoffanalyse für den Landkreis Lichtenfels.	197
Abbildung 84: Vereinfachte Darstellung des betrachteten Systems.	198
Abbildung 85: POI für die GIS-basierte Standortanalyse.....	199
Abbildung 86: Finales Bewertungsgitter für den Landkreis Lichtenfels.	200
Abbildung 87: Vorläufige Potenzialräume im Landkreis Lichtenfels.....	201

Abbildung 88: Potenzialräume für eine Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis Lichtenfels.	202
Abbildung 89: Ergebnis der Kriterienüberprüfung für die Erzeugung von Wasserstoff.	203
Abbildung 90: Betrachtete Standorte (schwarz eingekreist) für die Errichtung einer Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis Lichtenfels.	204
Abbildung 91: Resultierende Wasserstoffgestehungskosten netto.	210
Abbildung 92: THG-Prämie Preisentwicklung 2023/2024 (Stand: 16.02.2025). [64].....	211

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die Anzahl der zugelassenen KFZ nach Kraftstoffen [3]	25
Tabelle 2:	Mittlere jährliche Fahrleistung nach Fahrzeugklasse [5]	26
Tabelle 3:	Endenergieverbräuche Verbrauchergruppen und Sektoren qualitativ	30
Tabelle 4:	Treibhausgas-Emissionen je Sektor	31
Tabelle 5:	Die CO ₂ -Äquivalente der jeweiligen Energieträger	31
Tabelle 6:	Transformationsprozesse Wärmepumpen	45
Tabelle 7:	Gegenüberstellung der Annahmen im Energieszenario 2040 und des Alternativszenarios	84
Tabelle 8:	Kostenübersicht Klärschlammtransport 2018 [eigene Darstellung]	163
Tabelle 9:	Übersicht der alternativen Erzeugungstechnologien.	190
Tabelle 10:	Annahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	206
Tabelle 11:	Gesamtinvestitionskosten für die Elektrolysesysteme in € netto.	207

1 Einleitung

Mit dem digitalen Energienutzungsplan für den Landkreis Lichtenfels wurde 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 Wirtschaft
- eine gebäudespezifische Analyse des Sanierungspotenzials
- eine standortspezifische Potenzialanalyse zum Ausbau erneuerbarer Energieträger
- ein Energieszenario bis zum Jahr 2040
- die Ausarbeitung eines umfassenden Maßnahmenkatalogs mit einer detaillierten Betrachtung einzelner Schwerpunktprojekte
- kommunenspezifische Steckbriefe mit folgenden Bestandteilen: einer allgemeinen Übersicht, dem energetischen Ist-Zustand, der Potenzialanalyse, den Kläranlagensteckbriefen sowie einem Maßnahmenkatalog je Kommune.

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 (z. B. Datenerhebungsbögen, Verbrauchsangaben). Auch wenn es sich dabei ausschließlich um energierelevante Informationen handelt und nicht um Informationen zu Personen selbst, werden im folgenden Hauptteil des Abschlussberichts ausschließlich zusammengefasste und anonymisierte Daten dargestellt, welche keinen unmittelbaren Rückschluss auf die personenbezogenen Daten zulassen.

2 Projektablauf und Akteursbeteiligung

2.1 Projektphasen

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 (Bilanzjahr 2021) erstellt. Dabei wurde zwischen den Verbrauchergruppen "Private Haushalte", "Kommunale Liegenschaften", "Wirtschaft" 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 und Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz realistisch ausgeschöpft werden können. Ebenso wurden die erschließbaren Ausbaupotenziale regionaler erneuerbarer Energieträger analysiert.

Zentrales Element des digitalen Energienutzungsplans ist die Ausarbeitung eines Energieszenarios zum Erreichen einer bilanziell vollständigen Eigenversorgung aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2040. Dieses Energieszenario dient als übergeordneter Handlungsleitfaden und Basis zur Ableitung eines konkreten Maßnahmenkatalogs.

2.2 Abstimmung mit allen relevanten Akteuren

- **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, regelmäßig die Zwischenergebnisse abgestimmt und fortgeschrieben.

- **Fach- und Bürgerforen:**

Es wurde jeweils ein Fachforum zum Thema Wasserstoff (04.02.2025), Biogas (14.01.2025) und Wasserkraft (16.01.2025) durchgeführt. Zudem wurden zwei Bürgerforen (23.01.2025 und 30.01.2025) abgehalten. Dabei konnten wichtige Hinweise, Herausforderungen und Lösungsvorschläge aus der Praxis aufgenommen werden. Die Ergebnisse flossen direkt in die Maßnahmenentwicklung des Energienutzungsplans mit ein.

- **Abschlussveranstaltung**

Die Endergebnisse des digitalen Energienutzungsplans wurden als Abschlussbericht übergeben und öffentlich vorgestellt.

2.3 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
- Gebäudescharfes Sanierungskataster
- Georeferenzierte Darstellung der Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien im Ist-Zustand
- Potenzialanalyse erneuerbarer Energien, z.B. Analyse potenzieller Flächen für Freiflächen-Photovoltaik

Die GIS-Daten können 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 des Landkreises betrachtet. Dies bedeutet, dass nur Energieverbräuche innerhalb der Landkreisgrenzen erfasst und bilanziert werden. Der Anteil an erneuerbaren Energien ergibt sich analog allein aus den Erzeugungsmengen der Anlagen im Landkreisgebiet.

3.1.1 Definition der Verbrauchergruppen

Im Rahmen des 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 (Wirtschaft)

In der Verbrauchergruppe 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. Außerdem sind öffentliche Großverbraucher auch in dieser Verbrauchergruppe einbegriffen, die nicht unter die Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften“ fallen (z. B. Krankenhaus, Bereitschaftspolizei).

d) Verkehr

Der Endenergiebedarf im Sektor Verkehr schließt sämtliche Bereiche der Mobilität mit ein. So sind neben dem Straßenverkehr auch der Flug-, Schienen- und Bahnverkehr mitberücksichtigt. Eine exakte territoriale Betrachtung im Rahmen der Landkreisgrenzen gestaltet sich aufgrund der nicht-stationären Energieverbraucher schwierig. Um dennoch eine landkreisspezifische Aussage über Energiekennwerte im Verkehrssektor treffen zu können, werden die Einwohnerzahlen sowie im straßengebundenen Verkehr die Zulassungszahlen der Kraftfahrzeuge zur Bildung der Energiekennwerte herangezogen. Letztere dienen als Basis für die Ermittlung des IST-Zustands sowie der Szenarienbildung für die definierten Zieljahre für den Straßenverkehr. Eine Einteilung der Fahrzeugklassen in Gruppen lässt sich Abbildung 1 entnehmen. Für den Flug-, Schienen- und Binnenschiffahrtverkehr werden nationale Kennwerte auf den Landkreis heruntergebrochen. Der Schienenverkehr wird dabei in Personen- und Logistikverkehr unterteilt.

Gruppe	Fahrzeugklassen
Motorisierter Individualverkehr (MIV)	PKW, Krafträder
Straße Logistik	LKW, Zugmaschinen, Sonderfahrzeuge
Straße ÖPNV	Busse

Abbildung 1: Einteilung der Fahrzeugklassen im Straßenverkehr in Gruppen

3.1.2 Datengrundlage und Datenquellen

Alle Datenerhebungen, Analysen und Berechnungen im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans beziehen sich auf das Bilanzjahr 2021. Für die Jahre 2022 und 2023 lag während der Projektbearbeitung noch keine vollständige Datenbasis vor. Die Analyse des Energieverbrauchs stützt sich auf die nachfolgenden Datenquellen:

- Energieabsatz- und Einspeisedaten der lokal tätigen Energieversorgungsunternehmen für die leitungsgebundenen Energieträger Strom (inkl. Heizstrom) und Erdgas. Hierfür wurden exakte Netzabsatz- und Netzeinspeisedaten für das Jahr 2021 zur Verfügung gestellt.

- Gebäudescharfe Erfassung des Energieverbrauchs der kommunalen Liegenschaften mittels Erhebungsbogen.
- Datenerhebungsbögen im Bereich der Wirtschaftsbetriebe mit Abfrage der Umstellungsbereitschaft auf alternative Energieträger.
- Datenerhebungsbögen im Bereich der Biogasanlagen.
- Datenerhebungsbogen im Bereich der Kläranlagen im Rahmen des Schwerpunktprojekts zur Klärschlammverwertung.
- Datenschutzkonforme Kkehrbuchdaten über das Bayerische Landesamt für Statistik.
- Daten zu Wärmenetzen im Landkreisgebiet.
- Georeferenzierte Daten der Region Oberfranken-West der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Windkraftanlagen; Geobasisdaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung, Stand 18.10.2024
- Datenabfrage Solarthermie: Die Gesamtfläche der im Kommunalgebiet 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). Aufgrund fehlender Daten zu den Standorten der Anlagen kann keine georeferenzierte Darstellung ausgearbeitet werden.
- 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.
- Nutzung der Daten des bestehenden Solarkatasters des Landkreis Lichtenfels.
- Zusätzlich für den Sektor Verkehr:
 - Landkreisbezogene und bayernweite Straßenverkehrszählungen der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen für die Jahre 2015 und 2021
 - Zulassungsdaten der Zulassungsbehörde des Landkreises Lichtenfels
 - Landkreisspezifische Daten zu verlegten Schienenkilometern

- Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur)
- StandortTOOL (NOW GmbH)
- Datenerfassung Umfrage Industrie und Gewerbebetriebe zu potenziellen Wasserstoffbedarfen
- Zusätzlich für den Sektor Wasserstoff:
 - Standorte der kommunalen Kläranlagen Ausbaustufe 4 und 5 über das Landesamt für Umwelt.
 - Standorte der Bestandstankstellen (konventionell, CNG, LNG und Wasserstoff) (Landratsamt und OpenStreetMap).
 - Öffentlich zugängliche Daten zu Verkehrsknotenpunkten, wie Bundesstraßen, Autobahnen und Autobahnkreuze etc. im Landkreis
 - Verlauf des beschlossenen Wasserstoffkernnetzes vom 22.10.2024.

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.

3.2.1 Stromnetz

Das Stromnetz im Landkreis Lichtenfels wird von drei Netzbetreibern (Verteilnetzbetreiber) betrieben:

- SÜC Energie und H₂O GmbH
- Stadtwerke Lichtenfels
- Bayernwerk Netz GmbH

Es liegen vollständige Netzabsatzdaten und Daten zur Stromeinspeisung vor.

3.2.2 Gasnetze

Das Erdgasnetz im Landkreis wird vom Bayernwerk bzw. auch von den Stadtwerken Lichtenfels betrieben. Es liegen vollständige Netzabsatzdaten vor.

3.2.3 Wärmenetze

Im Landkreis Lichtenfels sind mehrere Wärmenetze als leitungsgebundene Infrastruktur vorhanden, die überwiegend mit den Energieträgern Biomasse und Erdgas gespeist werden.

3.3 Sektor Wärme

3.3.1 Gebäudescharfes Wärmekataster

Das gebäudescharfe Wärmekataster erfasst alle beheizten Gebäude und beinhaltet zu jedem Gebäude Informationen zu Nutzung, Baustruktur und Wärmeverbrauch. Es bietet damit eine flächendeckende Information zur Struktur und dem Wärmeverbrauch 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. Gerade für die kommunale Wärmeplanung bildet das gebäudescharfe Wärmekataster eine gute Grundlage.

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 Wärmeverbrauch ermittelt. Für Nicht-Wohngebäude basiert die Berechnung auf spezifischen Verbrauchswerten für die jeweilige Nutzung des Gebäudes. Für Wohngebäude wird auf Basis des Gebäudealters ein passender durchschnittlicher Verbrauchswert gewählt. Mithilfe der Energienutzfläche wird dann für jedes Gebäude der entsprechende Wärmeverbrauch berechnet. Ergänzt wurden die berechneten Werte durch konkrete Verbrauchswerte aus den Fragebögen für Gewerbe- und Industriebetriebe und Kommunale Liegenschaften.

Abbildung 2 zeigt den Ausschnitt eines anonymisierten gebäudescharfen Wärmekatasters. Das Wärmekataster für den Landkreis Lichtenfels liegt dem Energienutzungsplan bei und wird in das GIS überführt.



Abbildung 2: Anonymisierter Ausschnitt eines gebäudescharfen Wärmekatasters

Abbildung 3 zeigt eine sogenannte „Heatmap“. Dabei werden Gebiete angezeigt, deren Energieverbrauch für Wärme im Verhältnis zu anderen Gebieten groß ist. Es ist ersichtlich, dass insbesondere die dicht bebauten Gebiete sowie die Gebietsumgriffe um Großverbraucher (z. B. Industrieunternehmen) einen spezifisch höheren Wärmeverbrauch aufweisen.

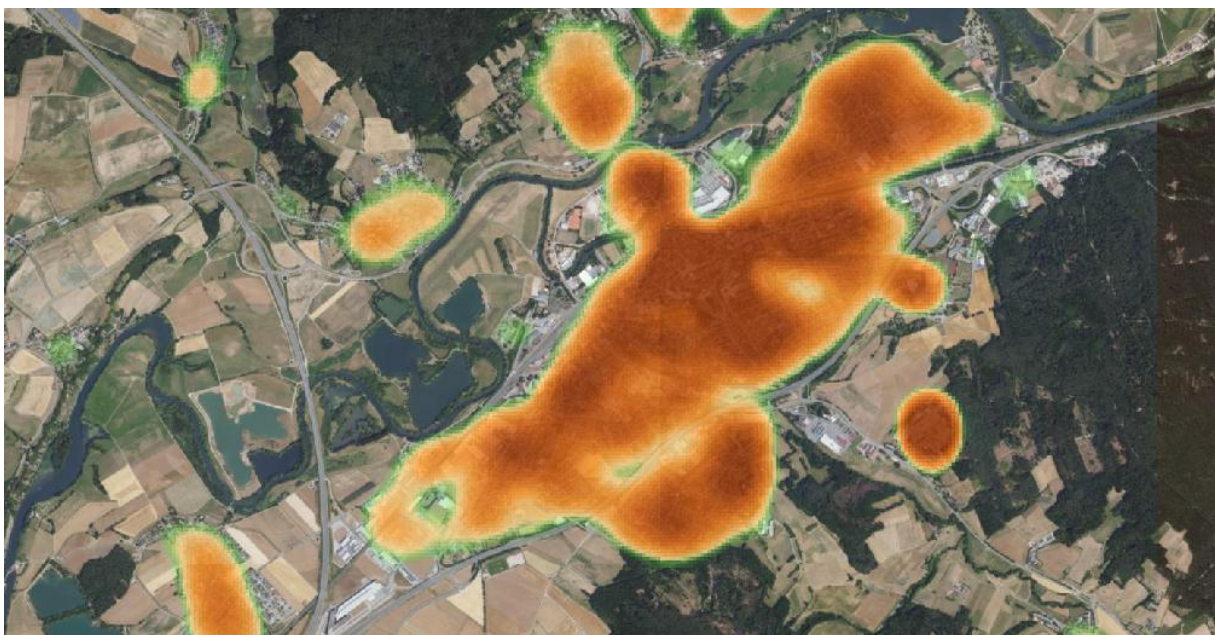


Abbildung 3: Auszug der Heatmap - Stadt Lichtenfels [Bayerische Vermessungsverwaltung; eigene Darstellung]

3.3.2 Wärmeverbrauch und Anteil erneuerbarer Energien

Der jährliche Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung aller Verbrauchergruppen beläuft sich auf rund 814.042 MWh. In Abbildung 4 ist die Aufteilung des Wärmeverbrauchs in die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Den höchsten Wärmebedarf hat die Verbrauchergruppe „Private Haushalte“. Aufgrund der geringen Anzahl haben die „Kommunalen Liegenschaften“ den geringsten Anteil am Wärmeverbrauch.

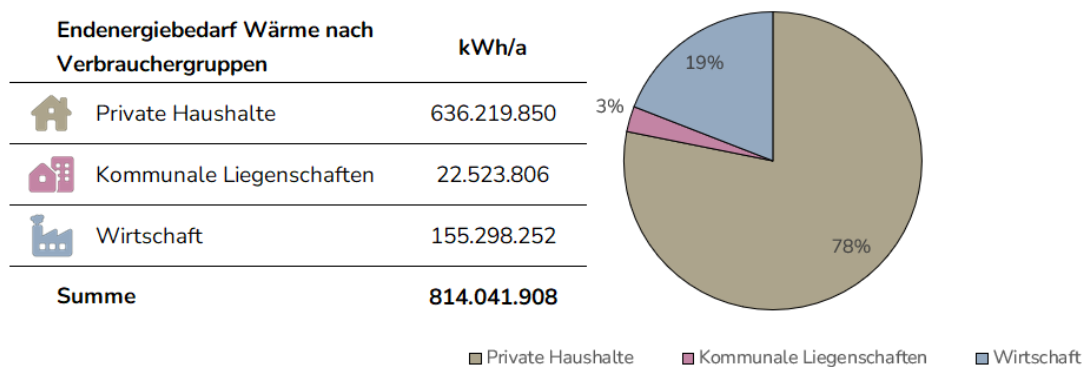


Abbildung 4: Wärmeverbrauch im Jahr 2021 nach Verbrauchergruppen

Eine kommunenscharfe Auflösung der Energieverbräuche ist in Abbildung 5 ersichtlich.

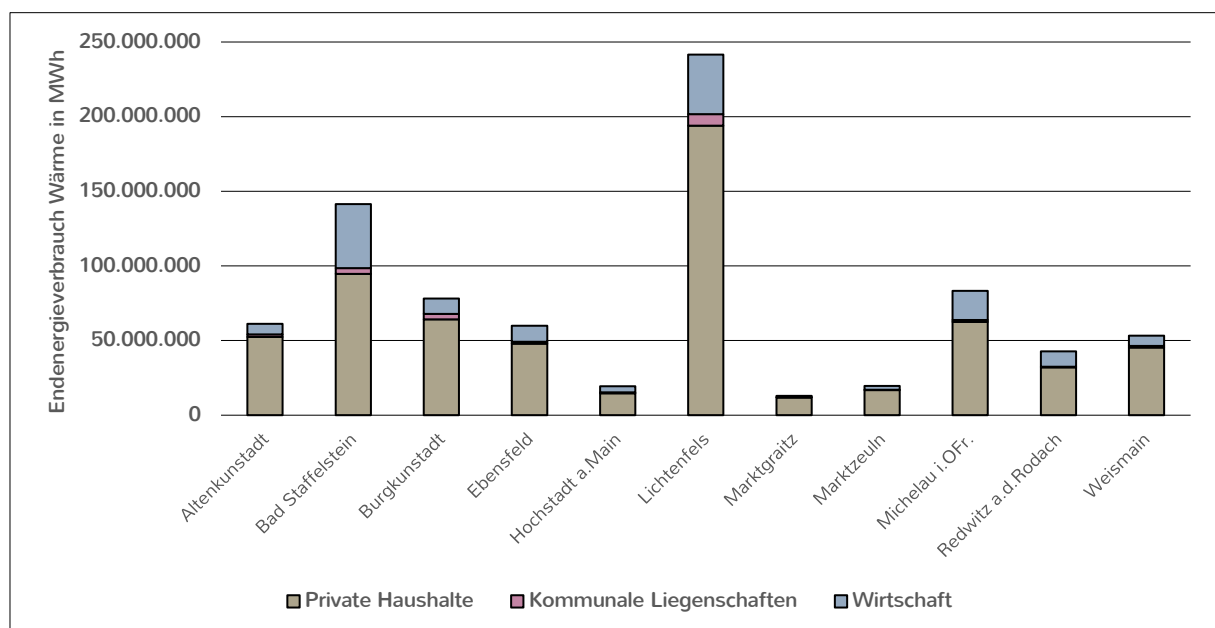


Abbildung 5: Wärmeverbrauch im Jahr 2021 – kommunenscharf

Von den insgesamt 814.042 MWh Wärmeverbrauch im Jahr 2021 werden rund 20 % aus erneuerbaren Energien bereitgestellt. Rund ein Drittel wird jedoch über Heizöl und ca. 41 % über Erdgas gedeckt.

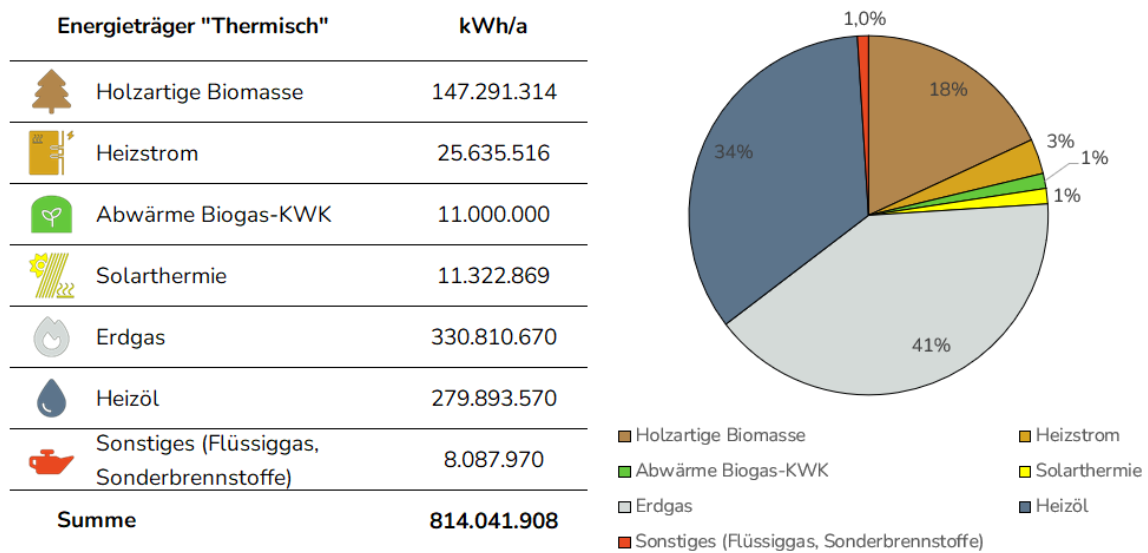


Abbildung 6: Wärmeverbrauch im Jahr 2021 nach Energieträger

3.4 Sektor Strom

Der Strombezug im Jahr 2021 beläuft sich in Summe auf rund 308.288 MWh. Die Aufteilung des Strombezugs in die einzelnen Verbrauchergruppen (siehe Abbildung 7) zeigt, dass die Verbrauchergruppe Wirtschaft mit rund 226.702 MWh den mit Abstand größten Anteil am Strombezug hat. Die privaten Haushalte benötigen nur etwa ein Viertel und die kommunalen Liegenschaften nur 2% des jährlichen Strombezugs.

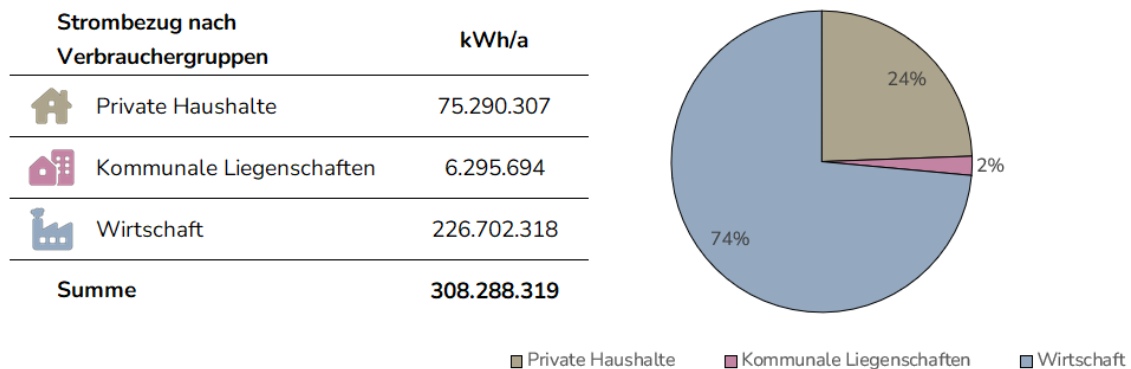


Abbildung 7: Strombezug im Jahr 2021 nach Verbrauchergruppen

Eine kommunenscharfe Auflösung der Strombezüge ist in Abbildung 8 ersichtlich.

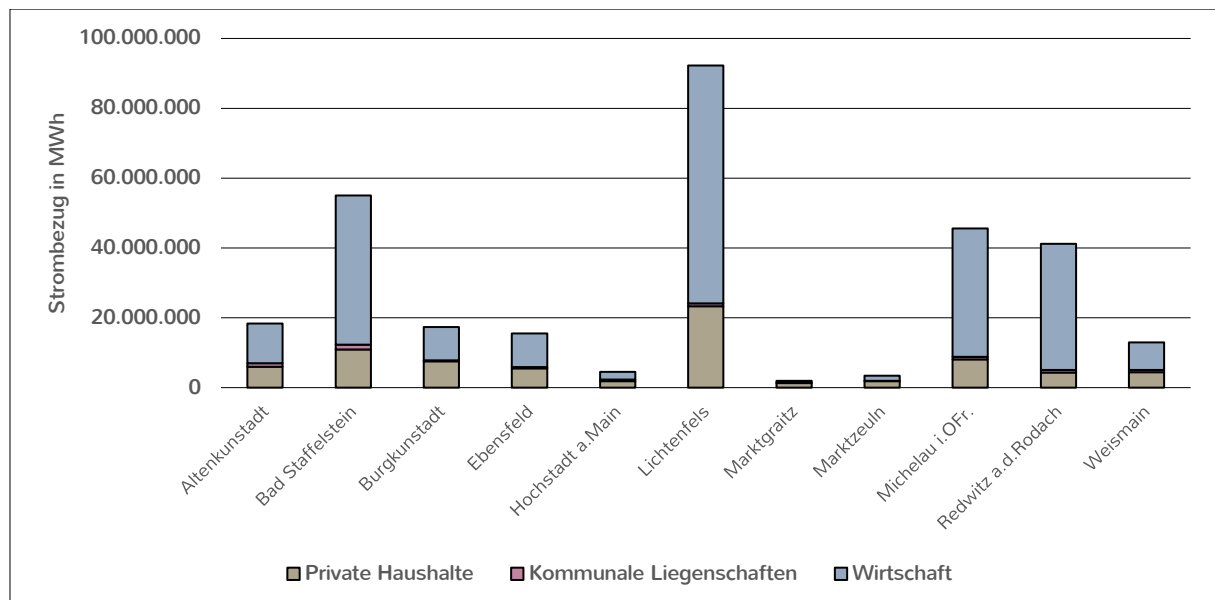


Abbildung 8: Strombezug im Jahr 2021 – kommunenscharf

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

Abbildung 9 zeigt die eingespeisten Strommengen aus Aufdach-Photovoltaik, Freiflächen-Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft, sowie Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus Biomasse und konventionellen Brennstoffen.

In Summe wurden im Bilanzjahr 2021 rund 155.662 MWh in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Den größten Anteil an der eingespeisten Strommenge hatte mit 35 % der Strom aus Aufdach-Photovoltaik. Dem gegenüber steht ein Strombezug von 308.288 MWh im Jahr 2021.

⇒ Daraus ergibt sich für das Jahr 2021 ein bilanzieller Anteil erneuerbarer Energien/KWK an der Stromversorgung von rund 50%.

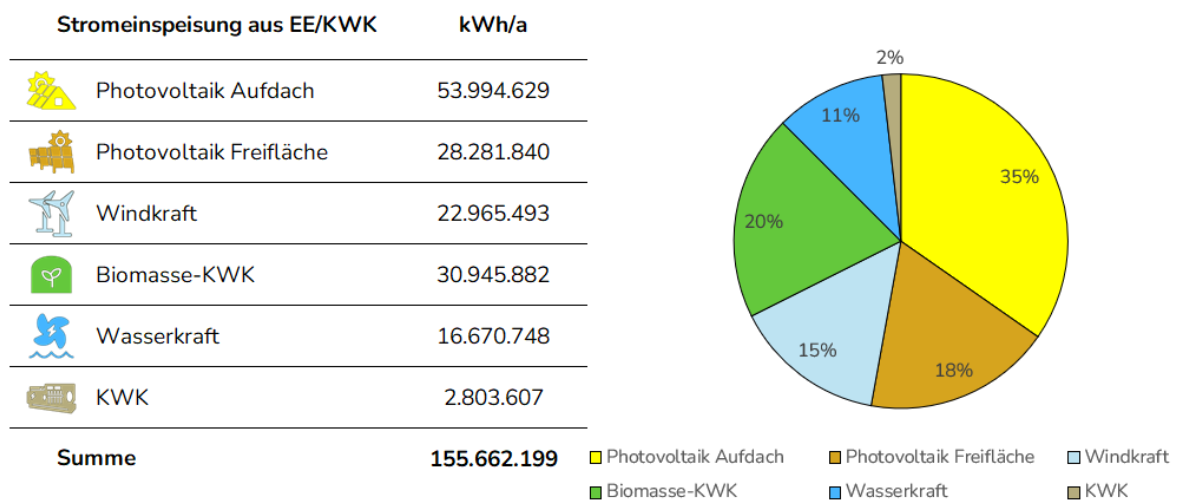


Abbildung 9: Stromeinspeisung im Jahr 2021 – Einspeisemix

Eine Gegenüberstellung der kommunenscharfen Stromerzeugung zum Stromverbrauch ist in Abbildung 10 zu finden.

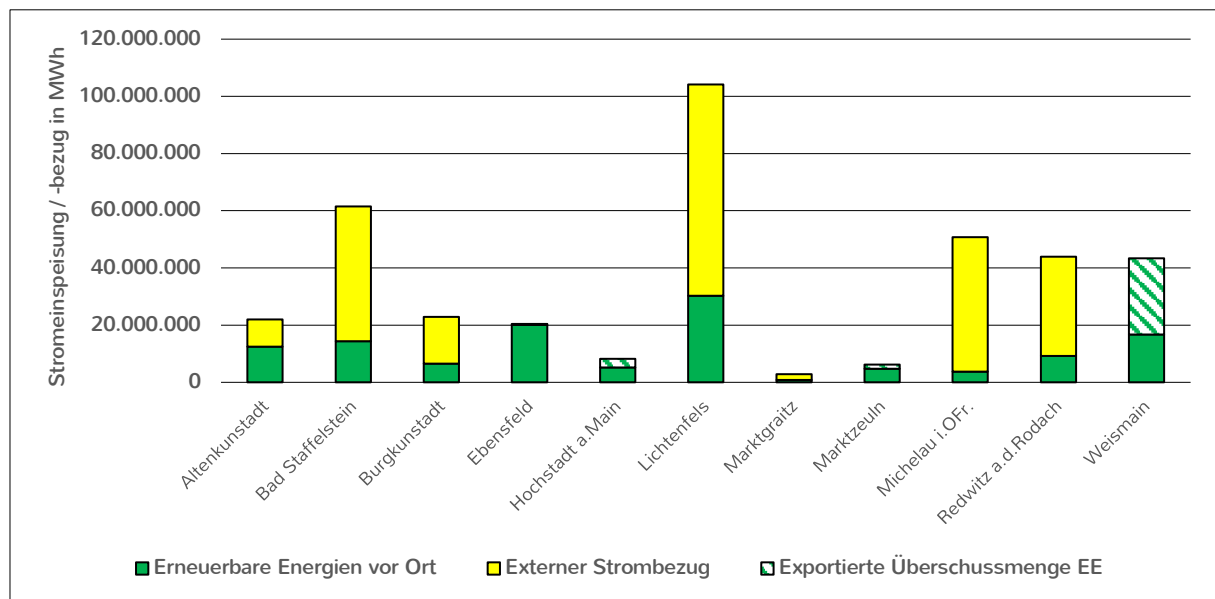


Abbildung 10: Kommunenscharfe Gegenüberstellung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs

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.

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung lag für alle Datensätze das Jahr 2021 als letztes vollständiges Kalenderjahr (Bilanzjahr) vor. In den Jahren 2022, 2023 und 2024 neu errichtete EEG- und KWK-Anlagen sind in der Energiebilanz im Ist-Zustand nicht mit eingerechnet. Erwähnenswert ist insbesondere der starke Zubau von Photovoltaikanlagen in den Jahren 2023 und 2024, wodurch sich der bilanzielle Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch im Landkreis spürbar erhöht hat.

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans wurden die eingespeisten Strommengen aus Energieerzeugungsanlagen detailliert erfasst und analysiert. Nachfolgende Abbildung 11 zeigt eine Standortübersicht der Erneuerbare-Energien-Anlagen mit einer elektrischen Leistung größer 30 kW.

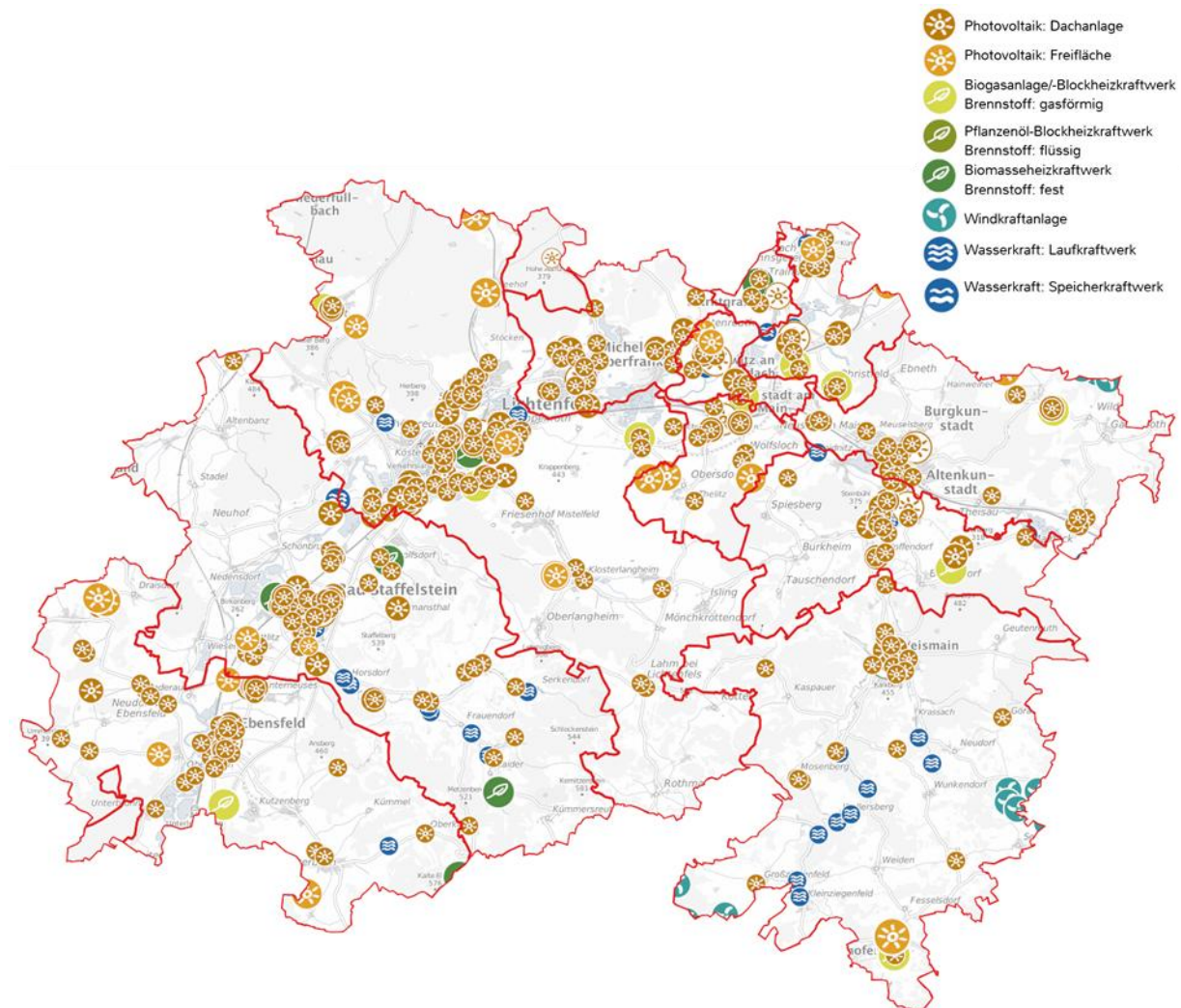


Abbildung 11: Übersichtskarte der Erneuerbare-Energien-Anlagen im Betrachtungsgebiet (Energie-Atlas Bayern) [1] eigene Bearbeitung)

3.5 Sektor Verkehr

Zur Berechnung des Energieverbrauchs des Sektors Verkehr wird, wie in Kapitel 3.1.1 geschildert, zwischen dem Straßenverkehr und dem Flug-, Schienen- und Bahnverkehr differenziert. Nach BSKO-Standard wird der Mobilitätssektor territorial bilanziert [2]. Das bedeutet, dass alle Verkehrsbewegungen innerhalb des Landkreises für die Ermittlung der Energieverbräuche berücksichtigt werden. Der Energieverbrauch des Straßenverkehrs berechnet sich auf der Grundlage der Zulassungszahlen der Kraftfahrzeuge (KFZ) im Landkreis (vgl. Tabelle 1 bzw. Abbildung 12¹) [3]. Durch die Verrechnung der durchschnittlichen Fahrleistungen der jeweiligen Fahrzeugklassen, der aktuellen Zulassungszahlen nach Fahrzeugtyp und der entsprechenden Energiewerte der Kraftstoffe kann der durchschnittliche Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs ermittelt werden (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2) [4].

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl der zugelassenen KFZ nach Kraftstoffen [3]

Kraftstoff	PKW	LKW	Busse	Kraft- räder	Zugma- schinen	Sonder- Fahrzeuge	Gesamt
Benzin	29.617	143	-	6.352	374	70	36.556
Diesel	14.046	3.245	76	8	4.990	928	23.293
Strom	3.018	33	-	53	1	8	3.113
Methan	20	9	-	3	-	-	32
Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt	46.701	3.430	76	6.416	5.365	1.006	62.994

¹ Hinweis: Die Einteilung der KFZ nach Kraftstoffen in der Abbildung entspricht der Darstellung in der Tabelle. Genaue Werte können demnach der Tabelle entnommen werden.

Tabelle 2: Mittlere jährliche Fahrleistung nach Fahrzeugklasse [5]

Fahrzeugklasse	Durchschnittliche Fahrleistung [km]
PKW	12.545
LKW > 3,5 t	33.492
Busse	52.297
Krafträder	2.096
Zugmaschine	8.982
Sonderfahrzeuge, andere	8.981
KFZ Gesamt	12.008

Zusätzlich werden Daten aus landkreisspezifischen Straßenverkehrszählungen der Jahre 2015 und 2021 einbezogen [6], [7]. Hierbei werden die Fahrleistungen im Landkreis mit den bayernweiten Durchschnittswerten verglichen. Daraus ergibt sich eine Anpassung der Fahrleistung im Landkreis, die entweder über oder unter dem bayernweiten Durchschnitt liegt. Insgesamt ergibt sich für den Energieverbrauch des Straßenverkehrs so ein landkreisspezifischer Gesamtwert. Für die Bilanzierung des Flug-, Schienen- und Binnenschiffahrtverkehrs werden nationale Werte herangezogen und auf Grundlage der Flugbewegungen an Hauptflughäfen, verlegten Schienenkilometern und Länge der Binnengewässer im Landkreis anteilig auf den Landkreis gerechnet [4], [8]. Da es sich hierbei um statistische Berechnungen handelt, können die tatsächlichen Energieverbräuche und Emissionen von den ermittelten Werten abweichen.

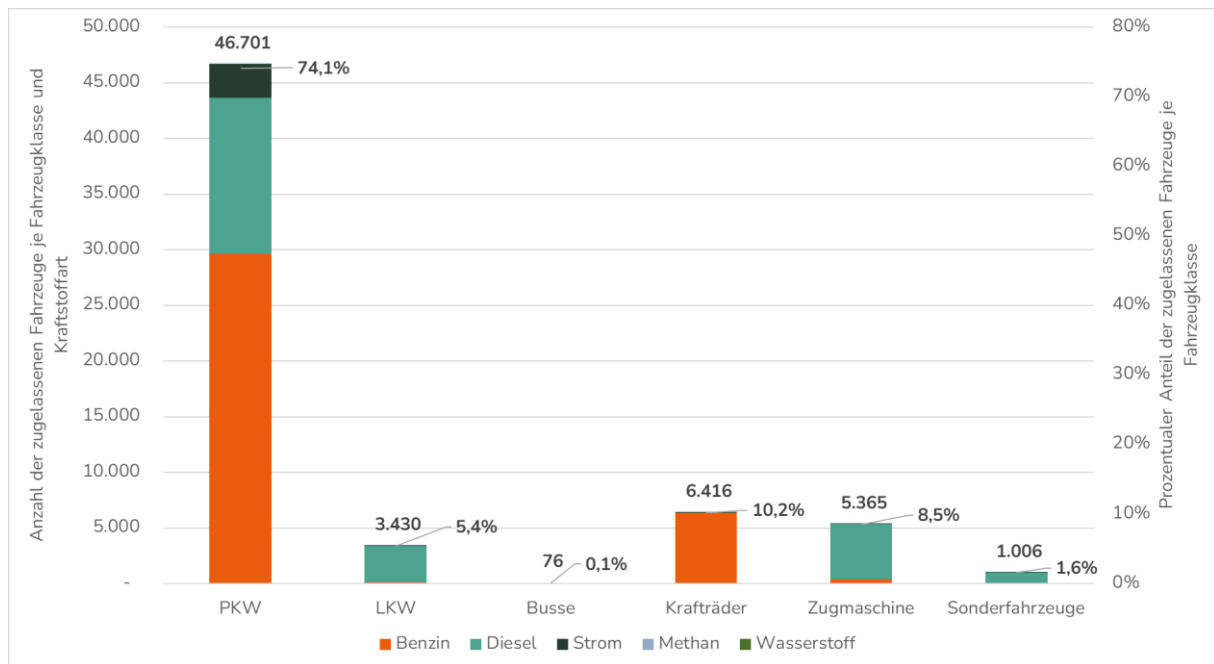


Abbildung 12: Anzahl und Anteil der Fahrzeuge in den jeweiligen Fahrzeugklassen, vgl. auch Tabelle 1 [3]

Nachfolgend ist eine Übersicht des Endenergieverbrauchs in der jeweiligen Kategorie dargestellt (vgl. Abbildung 13). In Summe beläuft sich der Energiebedarf im Sektor Verkehr auf rund 706.000 MWh pro Jahr, wobei der Motorisierte Individualverkehr mit ca. 60 % den mit Abstand größten Teil des Energieverbrauchs ausmachen. Den zweithöchsten Anteil am Energieverbrauch stellen die Nutzfahrzeuge mit ca. 37 % dar. Der Schienenverkehr und der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) spielen im Landkreis aus Sicht des Energieverbrauchs eine untergeordnete Rolle. In Abbildung 14 ist der Anteil der Kraftstoffe im PKW-Segment dargestellt. Mit etwa 93 % wird der überwiegende Anteil der Energie über fossile Energieträger bereitgestellt. Auf den gesamten Verkehrssektor bezogen liegt der Anteil fossil bereitgestellter Energie bei 97%.

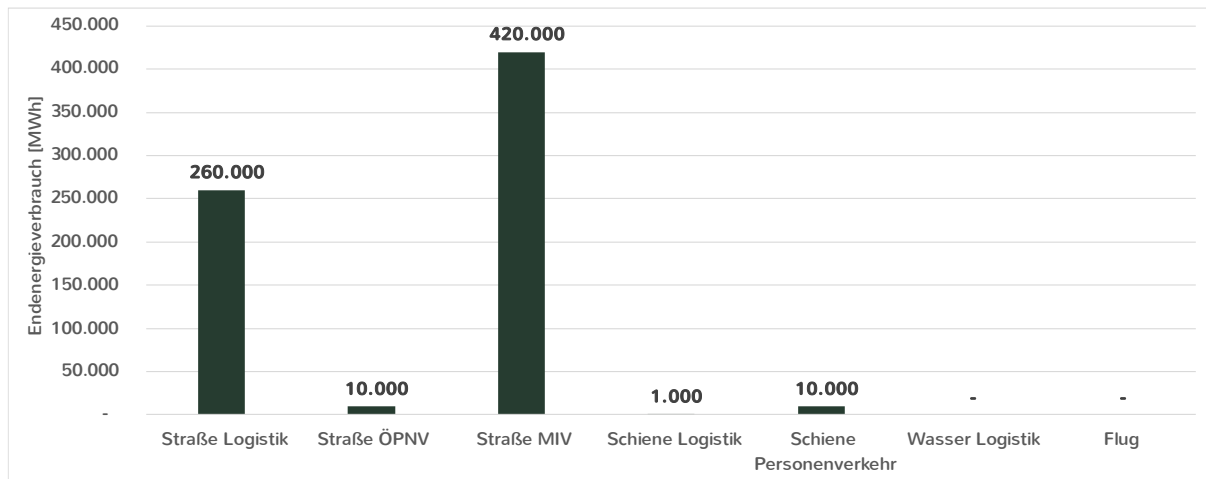


Abbildung 13: Energieverbrauch im Sektor Verkehr nach Gruppen (Angelehnt an [3])

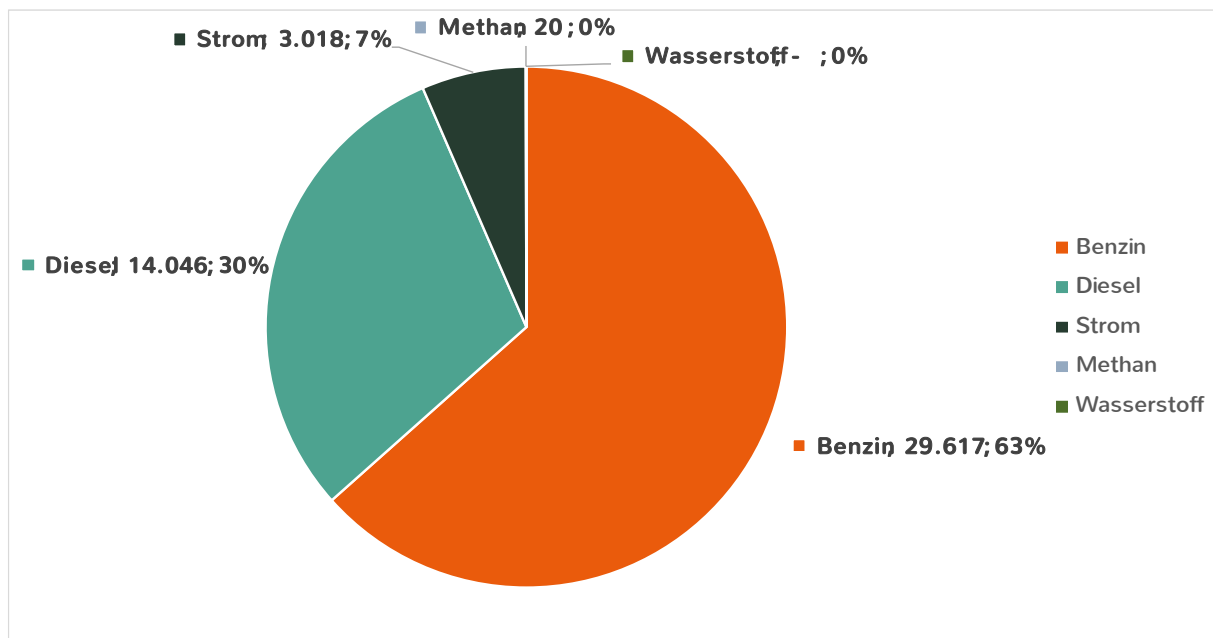


Abbildung 14: Anzahl und Anteil der PKW nach Kraftstoffen [3]

3.6 Gesamtenergie- und Treibhausgas-Bilanz im Ist-Zustand

In Tabelle 3 ist dargestellt, wie sich der Endenergieverbrauch auf die betrachteten Verbrauchergruppen „Private Haushalte“, „Kommunale Liegenschaften“, „Wirtschaft“ und den Sektor „Verkehr“ verteilt. Dabei beschreibt der Begriff „Endenergieverbrauch“ die Energiemenge, die den Endverbrauchern in nutzbarer Form bereitgestellt wird. Den höchsten Endenergieverbrauch weist im Vergleich die Verbrauchergruppe „Wirtschaft“ auf, gefolgt von dem Sektor „Verkehr“ und der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“. Die Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften“ weist den geringsten Endenergieverbrauch auf. Die kommunalen Liegenschaften spielen hinsichtlich des Gesamt-Endenergieverbrauchs 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. Zielgerichtete Maßnahmenideen für kommunale Gebäude sind im Maßnahmenkatalog enthalten.

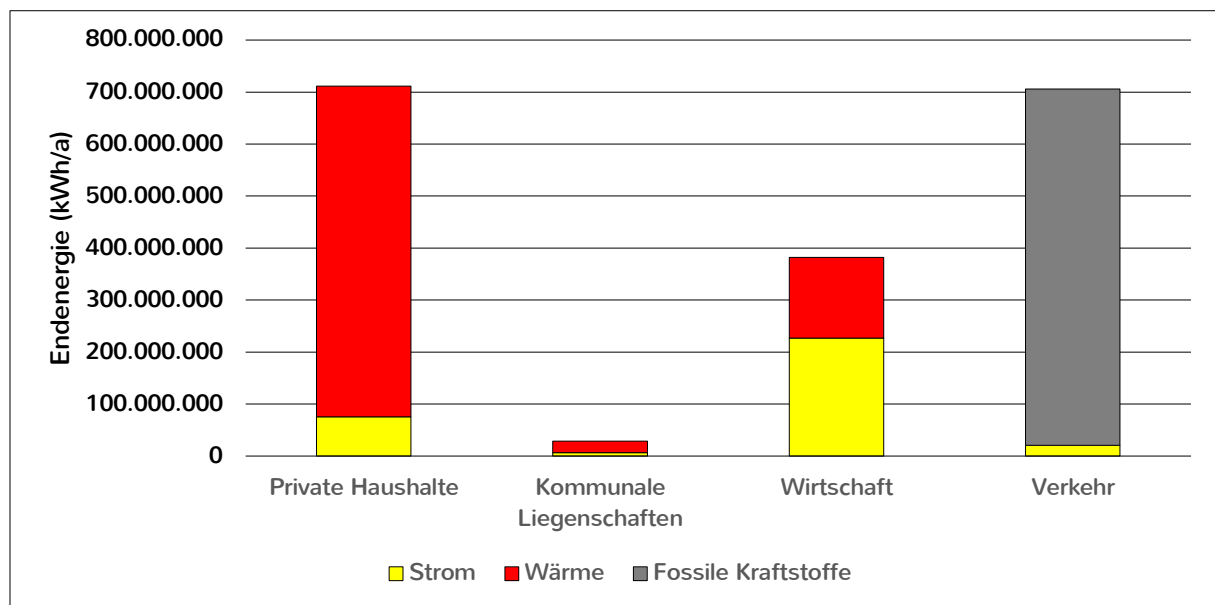


Abbildung 15: Endenergie aufgeschlüsselt nach Verbrauchergruppen

Tabelle 3: Endenergieverbräuche Verbrauchergruppen und Sektoren qualitativ

Sektor		Strom kWh/a	Wärme kWh/a	Fossile Kraftstoffe kWh/a
	Private Haushalte	75.290.307	636.219.850	-
	Kommunale Liegenschaften	6.295.694	22.523.806	-
	Wirtschaft	226.702.318	155.298.252	-
	Verkehr	20.863.750	-	685.121.510
Strombezug		329.152.069	814.041.908	685.121.510

Um auf Basis des ermittelten Strom- und Wärmeverbrauchs sowie der Anteile der jeweiligen Energieträger am Endenergieverbrauch die Treibhausgas (THG)-Bilanz bilden zu können, wird jedem Energieträger ein spezifischer THG-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 mithilfe verschiedener Quellen ermittelt, die in Tabelle 5 zusammengefasst sind. Die absoluten THG-Emissionen für die einzelnen Energieträger ergeben sich dann aus der eingesetzten Endenergiemenge multipliziert mit dem jeweiligen CO₂-Äquivalent. Für die Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien² innerhalb des Betrachtungsgebiets, wird eine THG-Gutschrift in Höhe des CO₂-Äquivalents für den deutschen Strommix angesetzt. Dahinter steht die Annahme, dass diese Strommenge in gleicher Höhe Strom aus dem deutschen Kraftwerkspark verdrängt. Durch diese Betrachtungsweise können sich bilanziell negative THG-Emissionen ergeben. Dies wäre in diesem Fall so zu interpretieren, dass im Vergleich zur durchschnittlichen

² Hierzu zählt auch Strom, welcher mit Biomasse-KWK eingespeist wurde.

Stromerzeugung in Deutschland an anderen Orten, außerhalb des Bilanzgebiets, THG-Emissionen kompensiert werden.

Aus dem Gesamtendenergieverbrauch und der Stromeinspeisung der Energieerzeuger resultiert ein Ausstoß von rund 492.000 Tonnen Treibhausgasen pro Jahr, was einem Pro-Kopf-Ausstoß von jährlich 7,4 Tonnen THG entspricht. In Tabelle 4 sind die THG-Emissionen vermerkt, die pro Sektor ausgestoßen werden.

Tabelle 4: Treibhausgas-Emissionen je Sektor

Emissionen nach Sektoren (t/a)	
CO ₂ Emissionen Strom	145.820
CO ₂ Emissionen Wärme	184.602
CO ₂ Emissionen Verkehr	233.501
CO ₂ Gutschrift EE	-72.302
CO ₂ Emissionen gesamt	492.463

Tabelle 5: Die CO₂-Äquivalente der jeweiligen Energieträger

Energieträger	CO ₂ -Äquivalent g/kWh 2021	Quelle
Strom	473	Umweltbundesamt
Erdgas	240	GEG
Heizöl	310	GEG
Sonstiges (fossil)	330	BAFA
Fossile Kraftstoffe	326	BISKO
Holzartige Biomasse	20	GEG
Abwärme Biogas-KWK	40	GEG
Biomethan	41	KEA Technikkatalog
Solarthermie	23	BISKO
Wasserstoff	50	KEA Technikkatalog

Die in Abbildung 16 dargestellten jährlichen CO₂-Emissionen wurden auf Grundlage der eingesetzten Endenergiemengen sowie der zugeordneten CO₂-Äquivalente für die jeweiligen Energieträger berechnet. Es zeigt sich, dass insbesondere die fossilen Energieträger – wie Heizöl mit knapp 87.000 Tonnen und Erdgas mit ca. 79.000 Tonnen – maßgeblich zum jährlichen Emissionsaufkommen im Landkreis beitragen. Der Strombezug weist mit 146.000 Tonnen ebenfalls einen hohen Emissionswert auf, wobei hier sowohl die eingesetzte Strommenge als auch der zugrunde gelegte Emissionsfaktor eine zentrale Rolle spielen. Die durch die Gutschrift entstandenen negativen Emissionen der erneuerbaren Energien belaufen sich insgesamt auf knapp 72.000 Tonnen.

Weitere Energieträger wie Abwärme oder Solarthermie führen zu vergleichsweise geringen Emissionen. Die dargestellten Werte verdeutlichen somit die unterschiedliche Klimawirkung der eingesetzten Energieträger und bieten eine Grundlage für priorisierte Handlungsansätze im Rahmen kommunaler Klimaschutzstrategien.

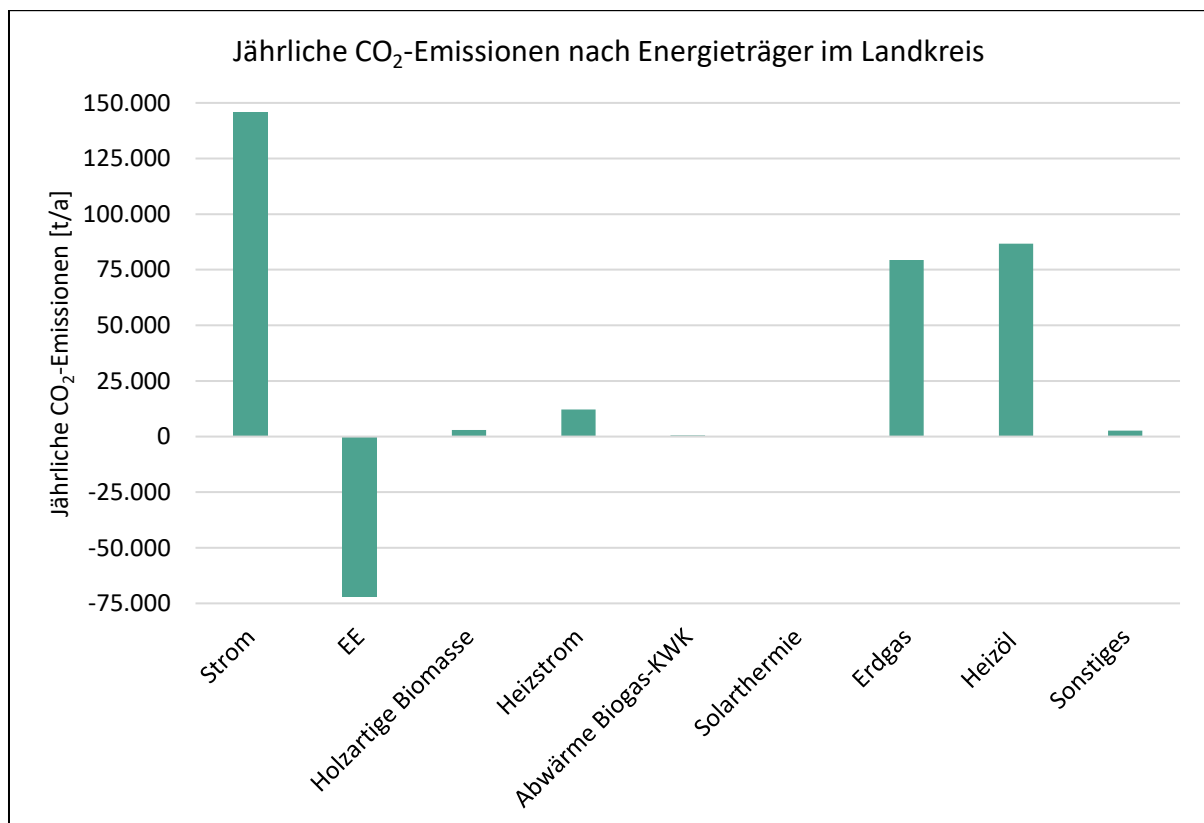


Abbildung 16: Jährliche CO₂-Emissionen nach Energieträger im Landkreis

Abbildung 17 zeigt die jährlichen CO₂-Emissionen im Landkreis, aufgeschlüsselt nach den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Der Verkehrsbereich weist hierbei mit ca. 234.000 Tonnen den höchsten Emissionsanteil auf, gefolgt vom Wärmesektor mit rund 185.000 Tonnen. Eine Erläuterung zu den Emissionen des Stromsektors wurde bereits in Abbildung 16 verfasst.

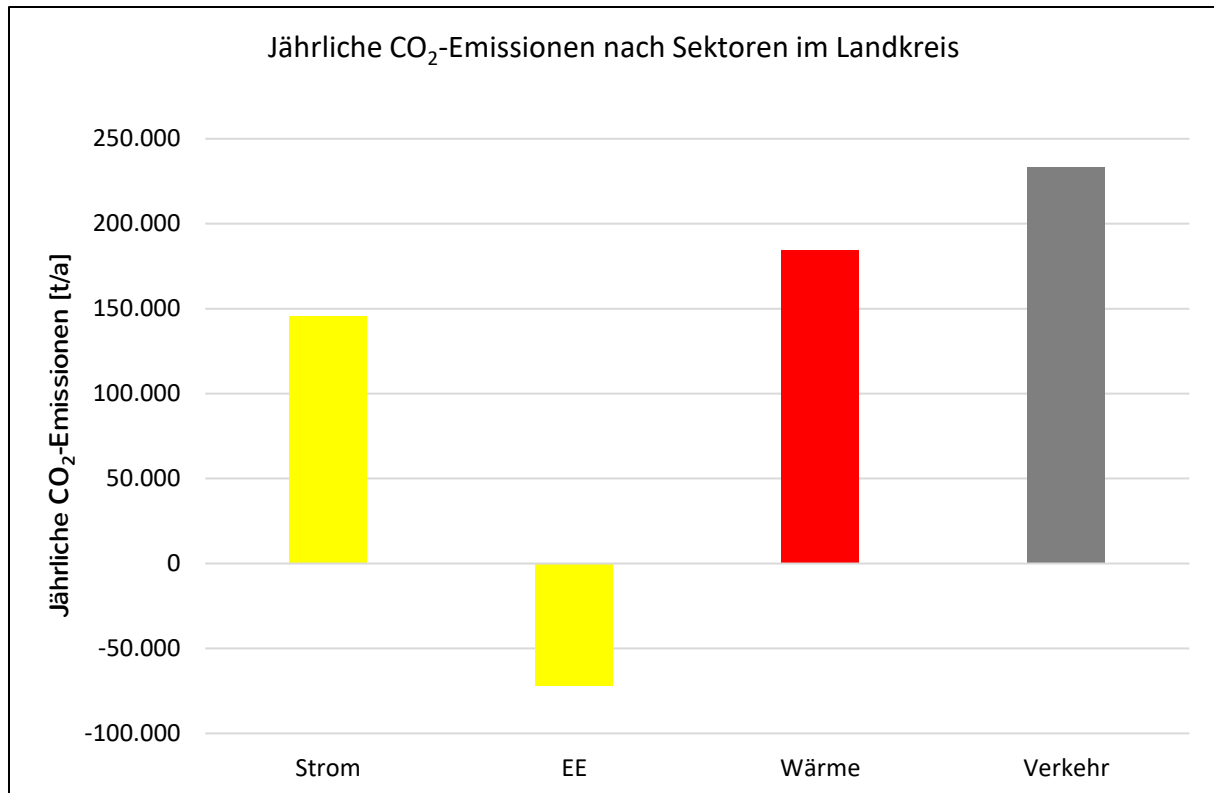


Abbildung 17: Jährliche CO₂-Emissionen nach Sektoren im Landkreis

Abbildung 18 vergleicht die jährlichen CO₂-Emissionen pro Einwohner der einzelnen Kommunen mit denen des gesamten Landkreises sowie dem bayerischen Durchschnitt. Mit einem Emissionswert von knapp 7,4 Tonnen CO₂ pro Einwohner liegt der Landkreis leicht über dem Durchschnitt in Bayern, der bei rund 7 Tonnen CO₂ pro Einwohner liegt. Die Werte der Kommunen zeigen eine teils deutliche Streuung, was auf unterschiedliche energetische Rahmenbedingungen, wie beispielsweise die Erzeugung aus erneuerbaren Energien, und die Infrastruktur zurückgeführt werden kann.

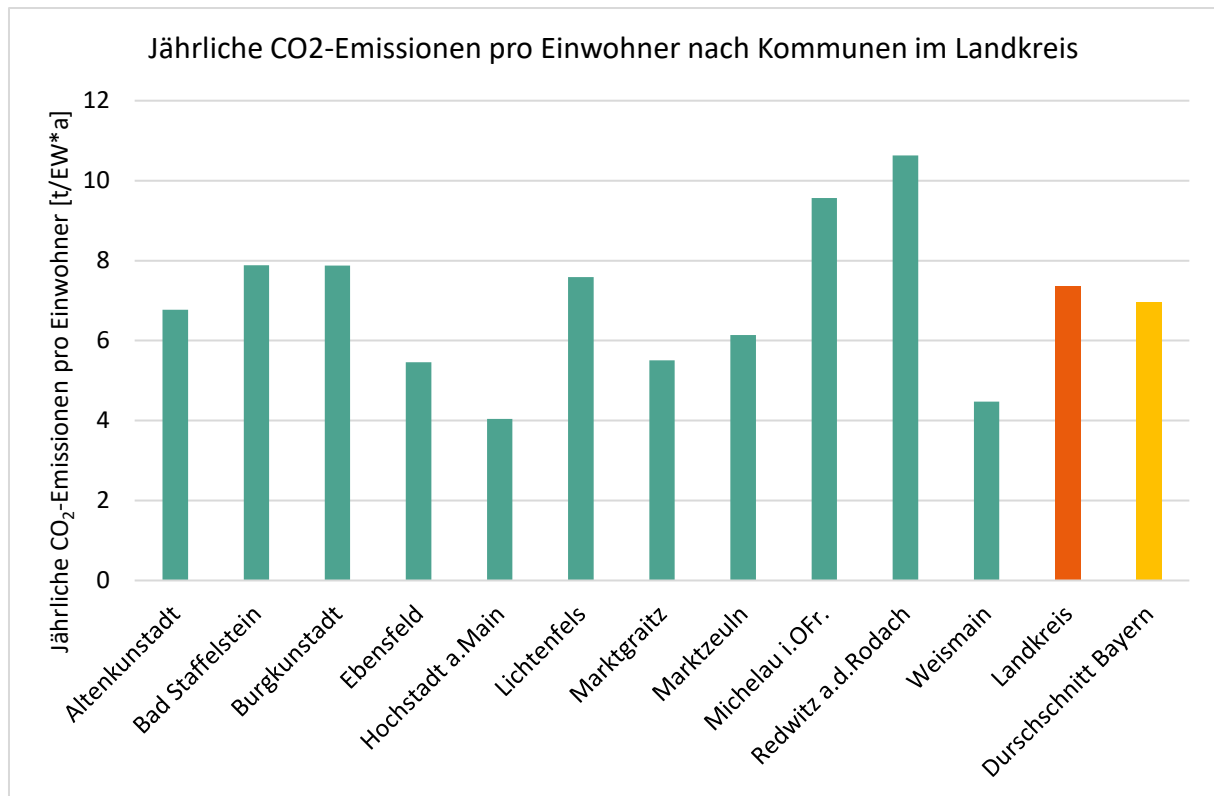


Abbildung 18: Jährliche CO₂-Emissionen pro Einwohner nach Kommunen im Landkreis

3.7 Entwicklung seit Klimaschutzkonzept

Das im Jahr 2012 bzw. 2013 erstellte Klimaschutzkonzept behandelt ähnliche Aspekte wie der vorliegende Energienutzungsplan. So wurden dort ebenfalls der Strombezug aus dem Netz, der Heizwärmebedarf sowie der Verkehrssektor betrachtet.

Es ist jedoch wichtig vorab darauf hinzuweisen, dass zum Zeitpunkt der Erstellung des Klimaschutzkonzepts verschiedene Datengrundlagen nicht verfügbar waren und sich zudem die methodische Herangehensweise sowie die Darstellung der Ergebnisse von der im Energienutzungsplan unterscheidet. Dies erschwert eine direkte Vergleichbarkeit der Zahlen erheblich.

Es wurden daher nur solche Diagramme aufgenommen, die eine zielführende und methodisch valide Vergleichbarkeit ermöglichen. Für den Sektor Heizwärme und der CO₂-Bilanz war dies aufgrund der eingeschränkten Datenlage und unterschiedlichen Methodik nicht möglich.

In Abbildung 19 ist der Strombezug aus dem Netz in den Jahren 2010 und 2021 im kommunalen Vergleich dargestellt. Es zeigt sich, dass der Verbrauch in allen Kommunen bis zum Jahr 2021 zurückgegangen ist. Die Gründe hierfür sind unter anderem die zunehmende Eigenstromerzeugung – etwa durch den Ausbau von Photovoltaikanlagen – sowie Effizienzsteigerungen in Haushalten, öffentlichen Gebäuden und der Wirtschaft. Ein möglicher weiterer Einflussfaktor ist das Wegfallen einzelner Großverbraucher, etwa durch Standortverlagerungen oder Betriebsschließungen. Ein ähnlicher Trend wird in Abbildung 20 deutlich, die den Gesamtstrombezug über beide Jahre hinweg veranschaulicht. Während 2010 noch knapp 420.000 MWh an Strom aus dem Netz bezogen wurden, so sind es im Jahr 2021 nur noch knapp 308.000 MWh. Hierbei ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass im Wert des Jahres 2021 ein Abzug aufgrund des Stroms für E-Fahrzeuge von ca. 21.000 MWh berücksichtigt ist.

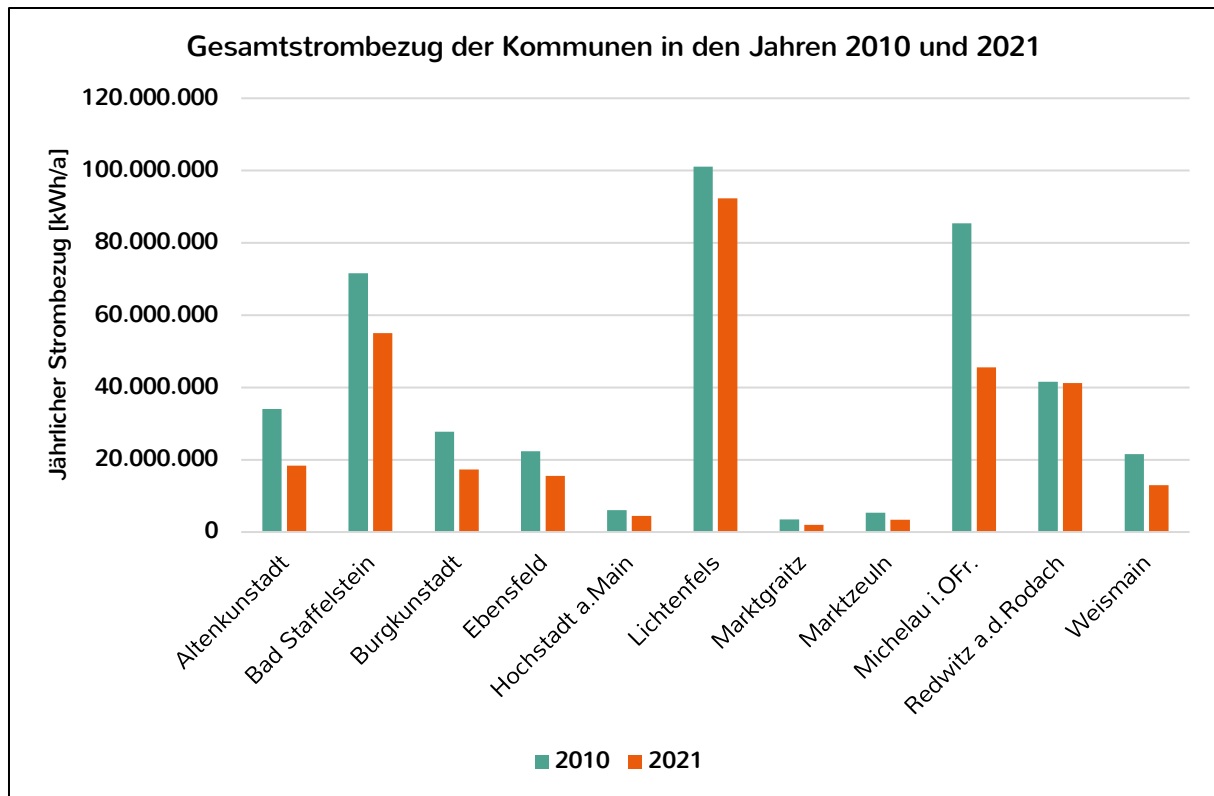


Abbildung 19: Gesamtstrombezug der Kommunen in den Jahren 2010 und 2021

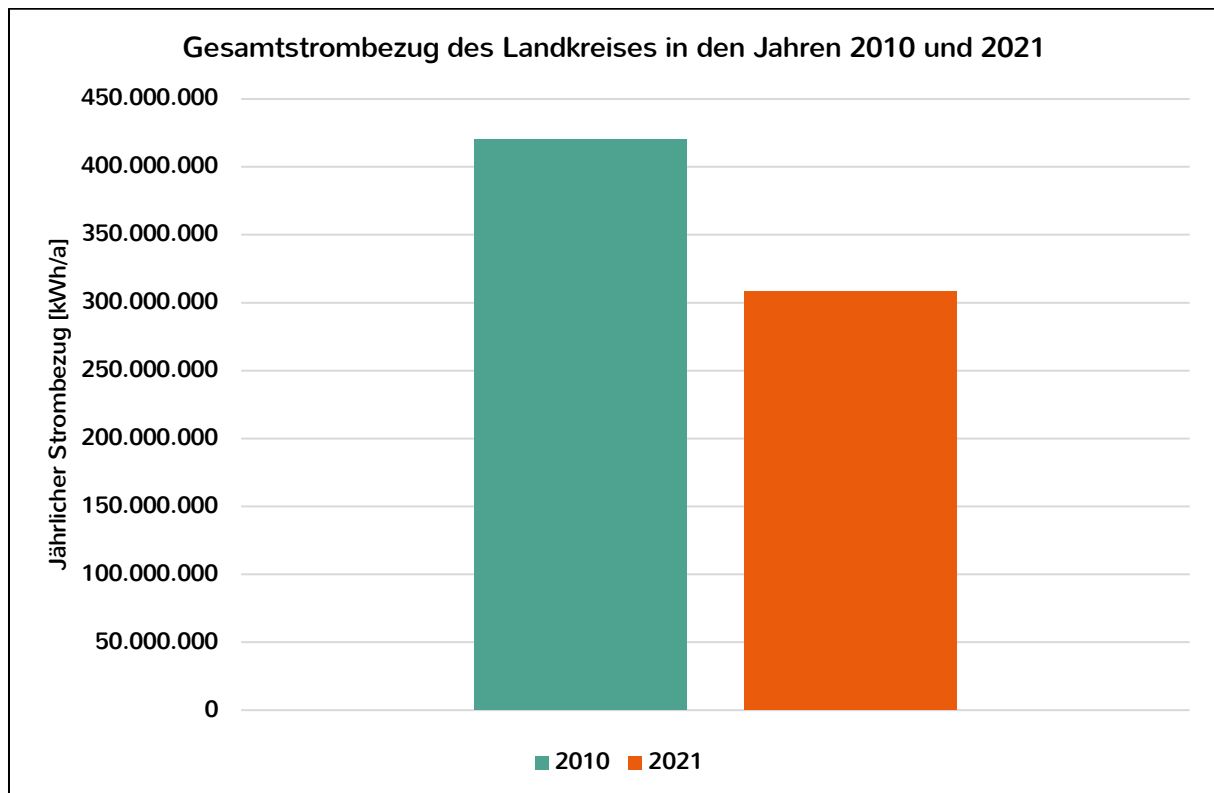


Abbildung 20: Gesamtstrombezug des Landkreises in den Jahren 2010 und 2021

Im Verkehrssektor zeigt sich beim Vergleich der fossilen Kraftstoffe in Abbildung 21 ein ähnlicher Verlauf: Während 2010 noch knapp 729.000 MWh verbraucht wurden, so waren es im Jahr 2021 nur noch ca. 685.000 MWh.

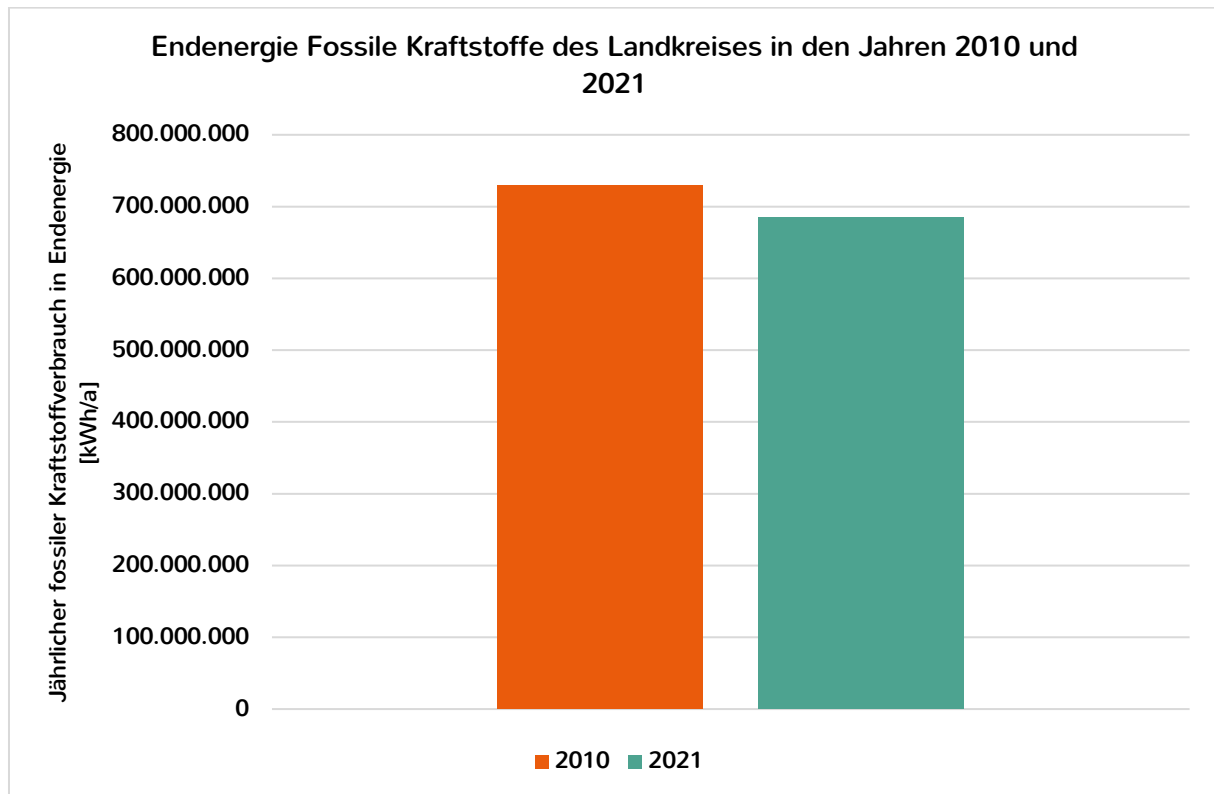


Abbildung 21: Endenergie Fossile Kraftstoffe des Landkreises in den Jahren 2010 und 2021

Abbildung 22 zeigt die Entwicklung der Energieerzeugung aus primär erneuerbaren Energien sowie – in geringerem Umfang – aus Kraft-Wärme-Kopplung. Dabei ist bei allen Erzeugungsträgern ein teils deutlicher Zuwachs zu verzeichnen.

So stieg die Stromerzeugung aus Wasserkraft von rund 14.000 MWh im Jahr 2010 auf etwa 17.000 MWh im Jahr 2021. Auch im Bereich der Biomasse-KWK ist ein Anstieg von knapp 21.000 MWh auf rund 31.000 MWh zu beobachten.

Besonders deutlich fällt das Wachstum in den Bereichen Solarstrom, Windkraft und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus:

- Die Solarstromerzeugung hat sich von knapp 28.000 MWh (2010) auf rund 82.000 MWh (2021) fast verdreifacht.

- Bei der Windkraft stieg die Erzeugung von etwa 7 MWh auf rund 23.000 MWh.
- Die Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung wuchs von etwa 500 MWh (2010) auf rund 2.800 MWh im Jahr 2021.

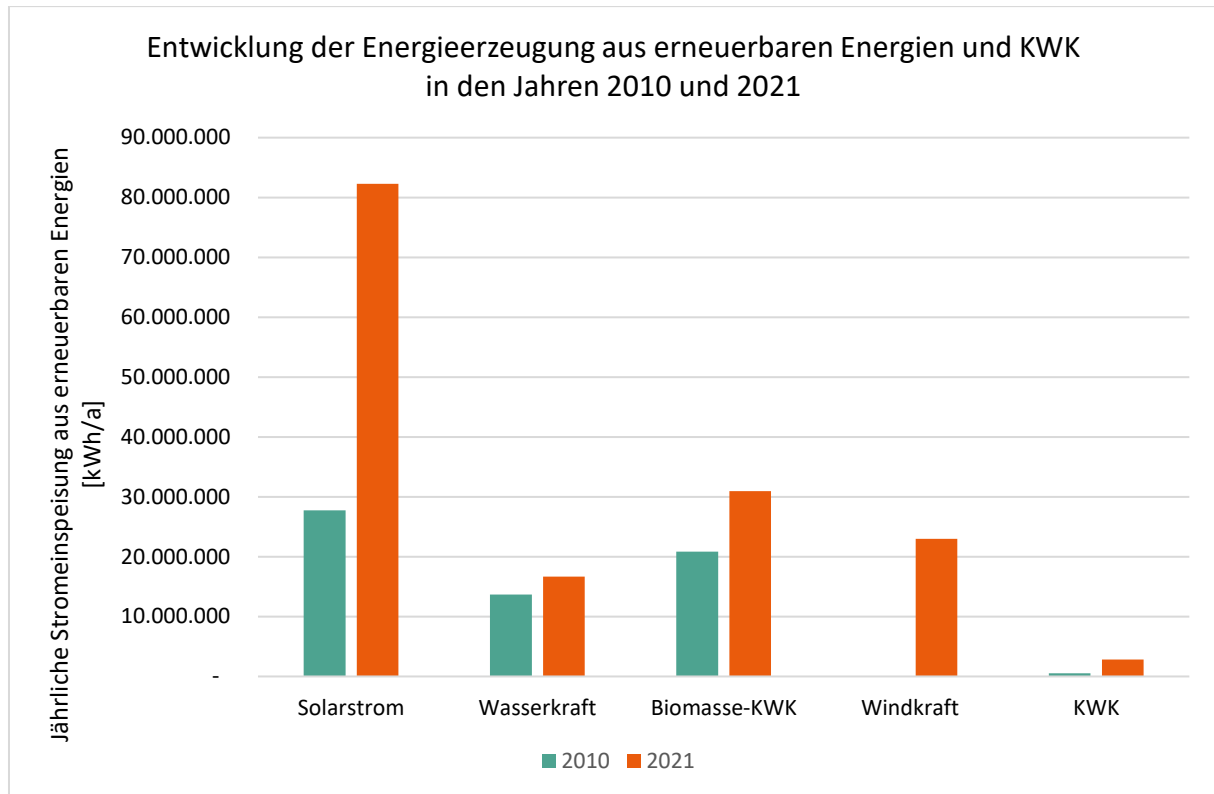


Abbildung 22: Entwicklung der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK in den Jahren 2010 und 2021

4 Potenzialanalyse

4.1 Grundannahmen

4.1.1 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, das heißt alle Ergebnisse sind als Jahreswerte nach Umsetzung der Ausbauziele angegeben (z. B. jährlicher Energieverbrauch in MWh/a und jährliche CO₂-Emissionen in t/a).

4.1.2 Demographie/Struktur der Wirtschaft

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

4.1.3 Potenzialbegriff

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

a) 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.

b) Das technische Potenzial

Das technische Potenzial umfasst den Teil des theoretischen Potenzials, der unter den gegebenen technischen, gesetzlichen und wirtschaftlichen 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. Ebenso ändern sich wirtschaftliche Rahmen. Das technische Potenzial ist somit als quantitative Einschätzung der Bedingungen zu sehen. 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 oder Ausbaupotenzial 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.

Quellen: Dieses Kapitel verwendet eine Reihe an Quellen, die für die Bildung des Energieszenarios genutzt wurden, aufgrund der Lesbarkeit aber nicht direkt im Text erwähnt werden. Diese sind in [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18] vermerkt.

4.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz

4.2.1 Gebäudescharfes Sanierungskataster

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

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

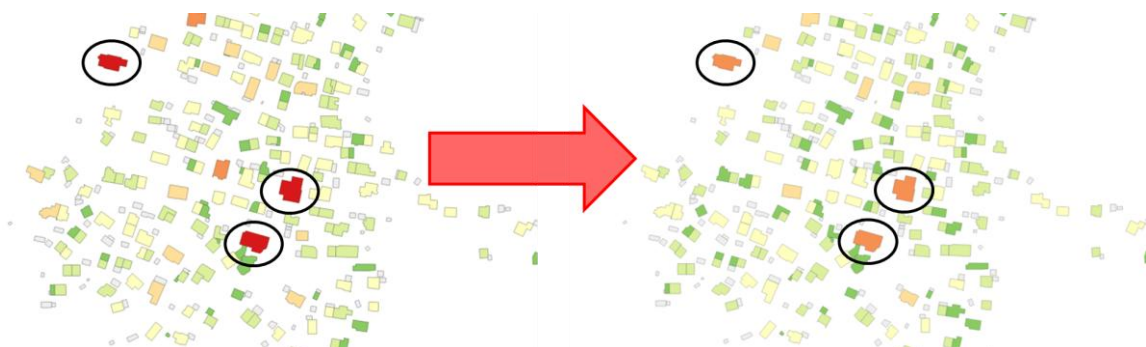


Abbildung 23: Anonymisierter Ausschnitt eines Sanierungskatasters vor und nach der Sanierung (Szenario: jährliche Sanierungsrate von 2% bis zum Jahr 2040)

4.2.2 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 Einsparmaßnahme soll in dem Szenario ein energetischer Stand von im Mittel rund 100 kWh/m² erzielt werden. Insgesamt könnten somit rund 9 % des Wärmeverbrauchs der Wohngebäude bis 2040 eingespart werden, was einer Reduktion von derzeit ca. 636.220 MWh auf etwa 577.609 MWh entspricht. Die hier zugrunde gelegte Sanierungsrate und -tiefe liegt über dem Bundesdurchschnitt, könnte jedoch über entsprechende Informations-, Beratungs- und Fördermaßnahmen erreicht werden.

Der Einsatz energieeffizienter Haushaltsgeräte senkt den Stromverbrauch privater Haushalte und reduziert damit zugleich den CO₂-Ausstoß. Die Ermittlung der Einsparpotenziale in dieser Verbrauchergruppe basiert auf historischen Daten und Annahmen der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. Für die Prognose wird angenommen, dass bis zum Jahr 2040 jährlich 0,9 % des Stromverbrauchs im Vergleich zum aktuellen Stand eingespart werden können. In Summe kann der Stromverbrauch in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ bis zum Jahr 2040 von derzeit 75.290 MWh pro Jahr auf 63.407 MWh pro Jahr gesenkt werden (rund 16 %). Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombezug für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombezug wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.2.3 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“ analog zu den privaten Haushalten. Es wird angenommen, dass, bezogen auf den Ist-Zustand, bis zum Zieljahr 2040 jährlich

- 0,9 % des Strombezugs
- 1,5 % des thermischen Endenergieverbrauchs

eingespart werden können.

Als Ergebnis kann bei Ausschöpfen der Energieeinsparpotenziale im Bereich der Kommunalen Liegenschaften der Stromverbrauch von derzeit 6.295 MWh/a auf rund 5.302 MWh jährlich und der Wärmeverbrauch von rund 22.523 MWh/a auf ca. 16.901 MWh/a gesenkt werden. Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombezug für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombezug wird in Kapitel 4.3 betrachtet. Zielgerichtete Maßnahmenideen für kommunale Gebäude sind im Maßnahmenkatalog enthalten

4.2.4 Wirtschaft

Da der Energieverbrauch von Unternehmen stark von Branche und Betriebsstruktur abhängt, ist eine präzise Analyse der Einsparpotenziale nur durch detaillierte Betriebsbegehungen und eine umfassende Datenerhebung möglich. Für die Verbrauchergruppe „Gewerbe und Industrie“ werden die Einsparpotenziale daher orientierend auf Basis historischer Daten und Annahmen aus dem Bayernplan 2040 ermittelt. Es wird angenommen, dass, bezogen auf den Ist-Zustand, bis zum Zieljahr 2040 jährlich

- 0,7 % des Strombezugs
- 1,5 % des thermischen Endenergieverbrauchs

eingespart werden können. Mit dieser Zielstellung könnten bis zum Zieljahr 2040 der thermische Energieverbrauch von 155.298 MWh pro Jahr im Ist-Zustand auf rund 116.534 MWh jährlich reduziert werden. Der Strombezug könnte von 226.702 MWh/a auf 198.377 MWh/a reduziert werden. Nicht enthalten ist hierbei der künftig zusätzlich notwendige Strombezug für Transformationsprozesse (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen). Dieser zusätzliche Strombezug wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

4.3 Transformationsprozesse

Für das Erreichen der Klimaneutralität (Dekarbonisierung des Energiesystems) ist es erforderlich, bestimmte Bereiche zu transformieren und damit die Verbrennung fossiler Energieträger zu substituieren. Dies betrifft zum einen den Sektor Verkehr und zum anderen den Sektor Wärme. Hier sind insbesondere Power-to-X Technologien gemeint, die

Verwendung von Strom in den Sektoren Wärme und Verkehr, aber auch grüne Gase wie Wasserstoff spielen eine bedeutende Rolle in dieser Transformation.

4.3.1 Transformationsprozesse Wärmepumpen (Power to Heat)

Unter Power-to-Heat wird die Erzeugung von Wärme unter dem Einsatz elektrischer Energie verstanden. Insbesondere der Einsatz von Wärmepumpen (mit denen je nach Typ Jahresarbeitszahlen > 4 erreicht werden können) wird zukünftig eine steigende Bedeutung in der Wärmeversorgungsstruktur in Deutschland erlangen. Das Bundeswirtschaftsministerium hat im Jahr 2021 das Ziel formuliert, dass bis zum Jahr 2030 insgesamt 6 Millionen Wärmepumpen in Deutschland installiert sein sollen [14]. Bei einem Wohngebäudebestand in Höhe von rund 19 Millionen Wohngebäuden in Deutschland entspricht dies rund einem Drittel aller Gebäude [19]. Bei einem linearen Zubau würde es bedeuten, dass im Jahr 2040 60 % der privaten Haushalte (und kommunalen Liegenschaften) ihren Wärmebedarf mit Wärmepumpen decken. Dabei können dezentrale Lösungen, aber auch Wärmenetze über z. B. Großwärmepumpen betrieben werden.

Das 60 %-Szenario wird insgesamt als sehr ambitioniert bewertet. Um den örtlichen Gegebenheiten besser Rechnung zu tragen und die Potenziale ausgewogen sowie nachhaltig zu nutzen, wurde das Ausbauszenario für Wärmepumpen in privaten Haushalten und kommunalen Liegenschaften auf 40 % festgelegt (siehe Tabelle 6). Für die Berechnung des zukünftigen Strombedarfs der Wärmepumpen wird konservativ mit einer Jahresarbeitszahl von 3 gerechnet.

In der Verbrauchergruppe Wirtschaft wird der Wärmepumpenanteil im Niedertemperaturbereich (Temperaturen < 200 °C) ebenfalls steigen, vermutlich aber nicht im gleichen Maße wie in den anderen Verbrauchergruppen. So wird sich im angesetzten Szenario Mittelweg der Anteil auf 20 % erhöhen. Der resultierende Strombedarf kann in Tabelle 6 eingesehen werden.

Tabelle 6: Transformationsprozesse | Wärmepumpen

Anteil des Wärmebedarfs, der durch Wärmepumpen gedeckt wird		
	Priv. HH und kommunale Liegenschaften	Wirtschaft (Niedertemperaturbereich)
Anteil an Wärmebedarf 2040 (dezentral und über Wärmenetze):	40 %	20 %
Quelle	Annahme IfE	Annahme IfE
Auswirkung bis 2040	Erhöhung auf 56.583.360 kWh _{el} /a	Erhöhung auf 8.728.000 kWh _{el} /a

Für den Betrieb der Wärmepumpen wird in Kapitel 4.4.8 geprüft, welche Formen der oberflächennahen Geothermie im Landkreis Lichtenfels möglich sind. Hierbei zeigt sich, dass neben dem reinen Betrieb als Luft-Wasserwärmepumpe auch die Nutzung von oberflächennaher Geothermie im Großteil des Landkreisgebiets möglich erscheint.

4.3.2 Transformationsprozesse Verkehrssektor

Im Bereich Verkehr beinhaltet der Transformationsprozess vor allem eine entweder direkte Elektrifizierung der Antriebstechnologien (batterie-elektrisch) oder eine Elektrifizierung der Antriebe über einen Power-to-Gas-Prozess als Zwischenstufe (vor allem Wasserstoff). Diese Entwicklungen gehen unmittelbar mit einer Effizienzsteigerung einher. So weisen beispielsweise per Elektromotor angetriebene KFZ im Vergleich nur noch rund ein Drittel des Energiebedarfs auf, den ein fossil mit Benzin- oder Dieselmotor angetriebener PKW benötigt [20].

Die Transformation des Sektors hin zu klimaneutralen Antriebstechnologien ist ein fortschreitender Prozess, der sowohl von landkreisspezifischen Gegebenheiten als auch von Entwicklungen auf Landes- und Bundesebene geprägt wird. Um den unterschiedlichen Einflussfaktoren gerecht zu werden, wurde für die Zieljahre 2030 und 2040 ein Mittelweg-Szenario entwickelt. Dieses bildet das Mittel zweier Extremwert-Szenarien, die jeweils einen Pfad geringer und sehr hoher Veränderungsprozesse im Vergleich zum Ist-Zustand beschreiben. Die Prämissen für die Szenarien sind in Abbildung 24 zusammengefasst.

Mobilität: Straßengebundener Verkehr			
Beschreibt Transformationsprozess im straßengebundenen Verkehr für die Stützjahre 2030 und 2040 ausgehend vom IST-Zustand			
	Ambitioniert	Mittelweg	Konservativ
Transformation	2030: 31% der zugelassenen Fahrzeuge fahren elektrisch, ÖPNV bereits vollständig erneuerbar 2040: Keine Verwendung fossiler Kraftstoffe mehr	Annäherung des konservativen Szenarios an das ambitionierte Szenario Standardeinstellung: 50%	2030/ 2040: Zulassungszahlen für elektrisch betriebene Fahrzeuge orientieren sich an Landkreis-Trend und an Studien
Quelle	Annahme IfE in Anlehnung an: Agora Energiewende - Klimaneutrales Deutschland 2045, Klimapolitische Ziele auf landes- und nationaler Ebene	Annahme IfE	Annahme IfE in Anlehnung an: Fraunhofer ISE - Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3, Landkreisspezifische Zulassungstrends E-Mobilität

Abbildung 24: Prämissen für die Szenarien im Sektor Verkehr

Das Extremwert-Szenario für geringe Weiterentwicklung und Transformation, „Konservativ“, basiert auf einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in Auftrag gegebenen Studie, die das Fraunhofer ISI in Zusammenarbeit mit der Consentec GmbH im Jahr 2021 veröffentlicht hat [21]. In Anlehnung an das dort beschriebene Szenario „TN-Strom“ werden die prognostizierten Energiebedarfe als Basis für die Berechnungen verwendet. Des Weiteren fließen landkreisspezifische aktuelle Zulassungszahlen und historische Entwicklungstrends der Bestände von BEV der Jahre 2020 – 2024 mit in das Szenario ein [5]. Umsetzungsvorhaben aus vorhandenen Mobilitäts- oder

Nahverkehrskonzepten werden ebenfalls im Szenario mitberücksichtigt. Insgesamt geht das Szenario von einer geringen Entwicklung des Verkehrssektors hin zu erneuerbaren Antriebstechnologien aus.

Die Ziele, die im Mobilitätssektor auf Landes- und Bundesebene aufgestellt wurden, werden im zweiten Extremwert-Szenario für einen hohen Grad an Transformation des Verkehrssektors, „Ambitioniert“, aufgegriffen. Diese beinhalten:

- Landesebene Freistaat Bayern:
 - Klimaneutralität des Mobilitätssektors bis 2040 (Ziel Landesregierung [22])
- Bundesebene Deutschland:
 - Bestand von 15 Mio. E-PKW bis 2030 (Ziel Bundesregierung [23])
 - Minderung des Treibhausgas (THG)-Ausstoßes im Mobilitätssektor um 49 % bis 2030 im Vergleich zu 1990 (Ziel Bundesregierung [24])

Aus den formulierten Zielen sowie der von Agora Energiewende und Stiftung Klimaneutralität beauftragten Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ aus dem Jahr 2021 lassen sich landkreisbezogene Annahmen für das Szenario „Ambitioniert“ ableiten. Des Weiteren werden für den Flug-, Schienen- und Binnenschiffahrtverkehr formulierte Ziele der jeweiligen Branchen in das Szenario aufgenommen. Außerdem wird in diesem Szenario auch die Verschiebung des Modal Split³ weg von straßengebundenen und hin zu schienengebundenen bzw. öffentlichem Verkehrsmitteln beachtet. [26]

Die Ist-Situation im Sektor Verkehr wurde in Kapitel 3.5 analysiert und ein mobilitätsbedingter Energieeinsatz im Landkreis von rund 706.000 MWh pro Jahr errechnet. Unter den geschilderten Rahmenbedingungen liegt der Strombedarf durch die sukzessive Elektrifizierung im Mittelweg-Szenario bis zum Zieljahr 2040 bei rund 173.000 MWh. Außerdem werden rund 14.000 MWh durch den Energieträger Wasserstoff bereitgestellt. Rechnerisch verbliebe noch ein Restanteil im Bereich Verkehr von rund 162.000 MWh, der über fossile Kraftstoffe abgebildet würde. Er wäre idealerweise durch Kraftstoffe auf regenerativer Basis bereitzustellen. Insgesamt beläuft sich der Energiebedarf für den Sektor

³ Prozentuale Anteile der verschiedenen Verkehrsmittel an der gesamten Verkehrsleistung [25]

Verkehr im Zieljahr 2040 im Mittelweg-Szenario damit auf etwa 348.000 MWh. Im Vergleich zum Ist-Zustand (vgl. Kapitel 3.5) verringert sich damit der Energieeinsatz in diesem Sektor um 51 %. Die sich ergebenden Energiebedarfe für das Zieljahr 2040 für die drei Szenarien sind in Abbildung 25 dargestellt.

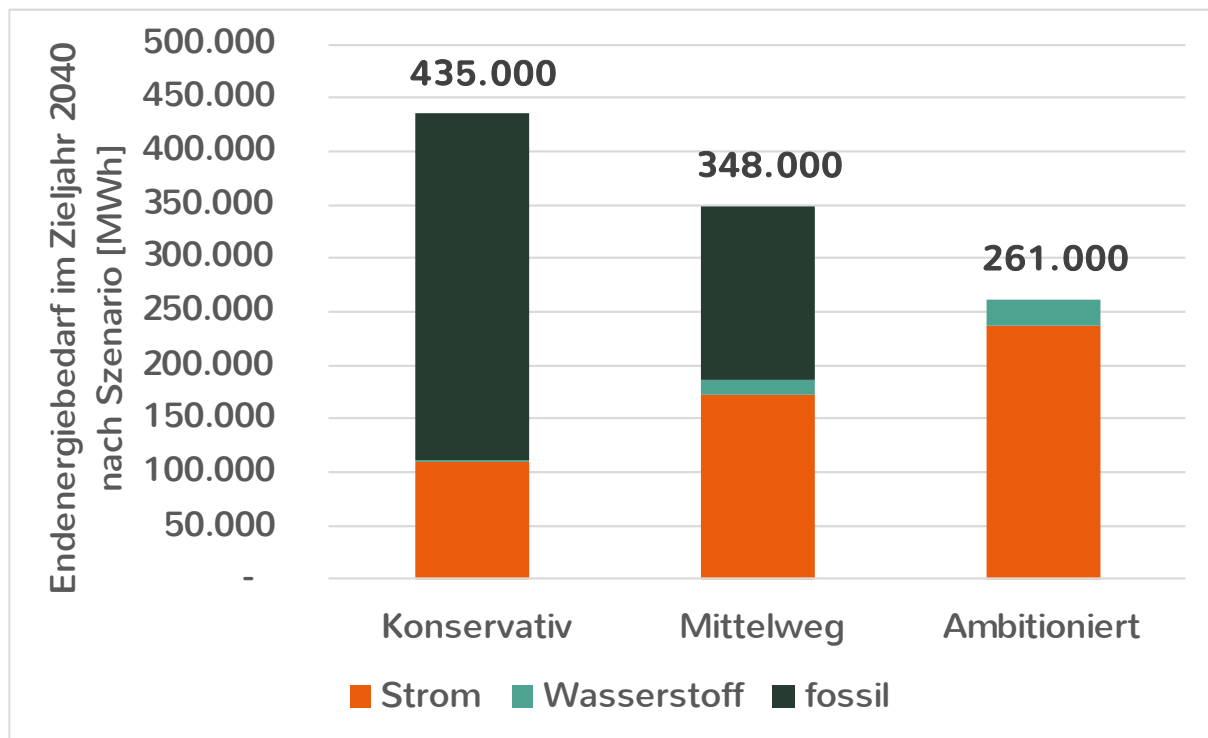


Abbildung 25: Endenergiebedarf im Sektor Verkehr im Zieljahr 2040 nach Szenario und Energieträger

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

Einschub: Wasserstoffnutzung in der Mobilität

Um die Potenziale der Wasserstoffnutzung in der Mobilität zu ermitteln, wurden unterschiedliche Ansätze gewählt.

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, wurde zur Ermittlung des potenziellen Wasserstoff-Absatzes bei Gewerbe- und Industrieunternehmen eine landkreisweite Umfrage durchgeführt. Unter anderem wurden hier auch Bedarfe im Verkehrssektor abgefragt. Die Unternehmen konnten Angaben zu Potenzialen bei Nutzfahrzeugen, wie beispielsweise LKW oder landwirtschaftlich genutzten Maschinen oder bei zur Beförderung des Individualverkehrs genutzten Fahrzeugen, wie PKW machen. Insgesamt belaufen sich die Wasserstoffbedarfe nach diesen

Angaben landkreisweit auf etwa 56 t/a. Die Potenziale ergeben sich dabei fast ausschließlich im Segment der Nutzfahrzeuge.

Eine zweite Betrachtung wurde für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), den Busverkehr, durchgeführt. Die Defossilisierung des ÖPNV kann sowohl durch direkte Elektrifizierung als auch durch Substitution der fossilen Kraftstoffe durch regenerative, wie beispielsweise Wasserstoff erfolgen. Aus der Literatur und Erfahrungswerten kann man ableiten, dass eine direkte Elektrifizierung von Bussen ab einer täglichen Fahrleistung von über 300 km nach aktuellem Stand der Technik nur unter bestimmten Voraussetzungen praktikabel ist. [27], [28], [29]

Deshalb wurde bei der Betrachtung der Buslinien des Landkreises dieser Wert als Schwellwert eingesetzt. Allen Buslinien, die eine tägliche Fahrleistung von mehr als 300 km aufweisen, wurde ein Wasserstoffbedarf für den Betrieb zugewiesen. Im Landkreis Lichtenfels ergeben sich aus dieser Betrachtung heraus keine Wasserstoffbedarfe.

Des Weiteren wurden für die Ermittlung der Wasserstoffbedarfe im Landkreis Werte aus Studien herangezogen. Je nach Szenario (s. o.) ergeben sich hier unterschiedliche Bedarfe. Betrachtet man den Mittelweg der beiden Szenarien „Konservativ“ und „Ambitioniert“, so ergibt sich ein Gesamtbedarf von etwa 410 t/a im Zieljahr 2040. Dabei entfallen etwa 380 t/a auf die Gruppe der Nutzfahrzeuge. Insgesamt wird über den Energieträger Wasserstoff rund 4 % des Gesamtenergiebedarfs des Mobilitätssektors bereitgestellt. Für die weitere Betrachtung wurden diese ermittelten Werte übernommen. Abbildung 26 stellt die Wasserstoffbedarfe im Mittelweg-Szenario für das Jahr 2040 gruppiert in die unterschiedlichen Segmente Nutzfahrzeuge, ÖPV und Motorisierter Individualverkehr dar.

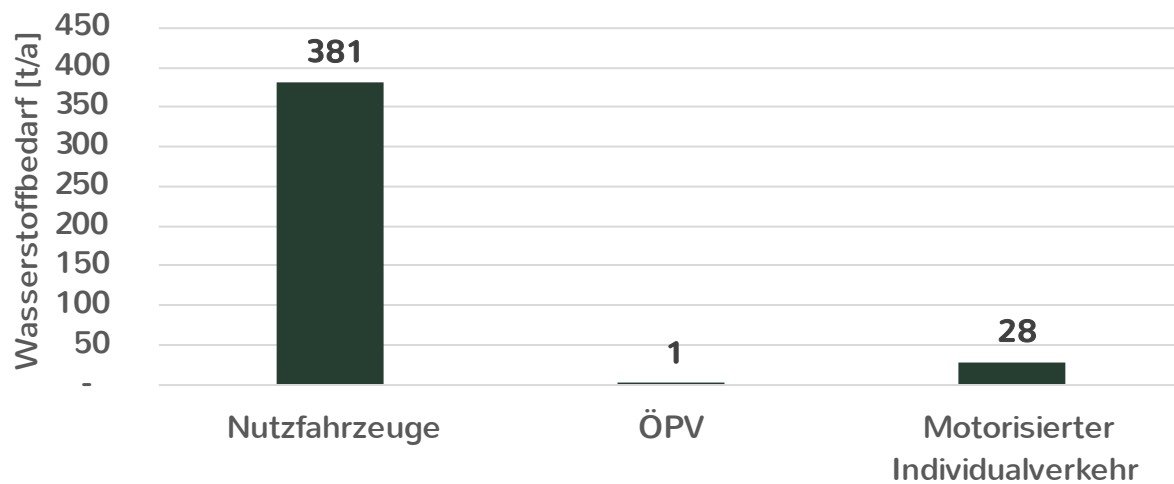


Abbildung 26: Wasserstoffbedarfe im Mittelweg-Szenario 2040 gruppiert in die Segmente Nutzfahrzeuge, Öffentlicher Personenverkehr und Motorisierter Individualverkehr

Einschub: Aufbau der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität

Langfristig erhöht sich der Bestand an Elektrofahrzeugen und somit auch der Strombedarf und der Bedarf an Ladeinfrastruktur (vgl. Kapitel 5). Um den erhöhten Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur festzustellen und zu verorten, kann das StandortTOOL der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur herangezogen werden. In Abbildung 27 sind zunächst der Entwicklung des Bestands bei Batterieelektrischen Fahrzeugen und Plug-in-Hybriden sowie der weitere Trend bis 2035 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich der Bestand bis 2030 im Vergleich zum Jahr 2022 um das 20-fache, bis zum Jahr 2035 sogar um das 34-fache erhöht. Den überwiegenden Anteil machen dabei batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge aus. [30]

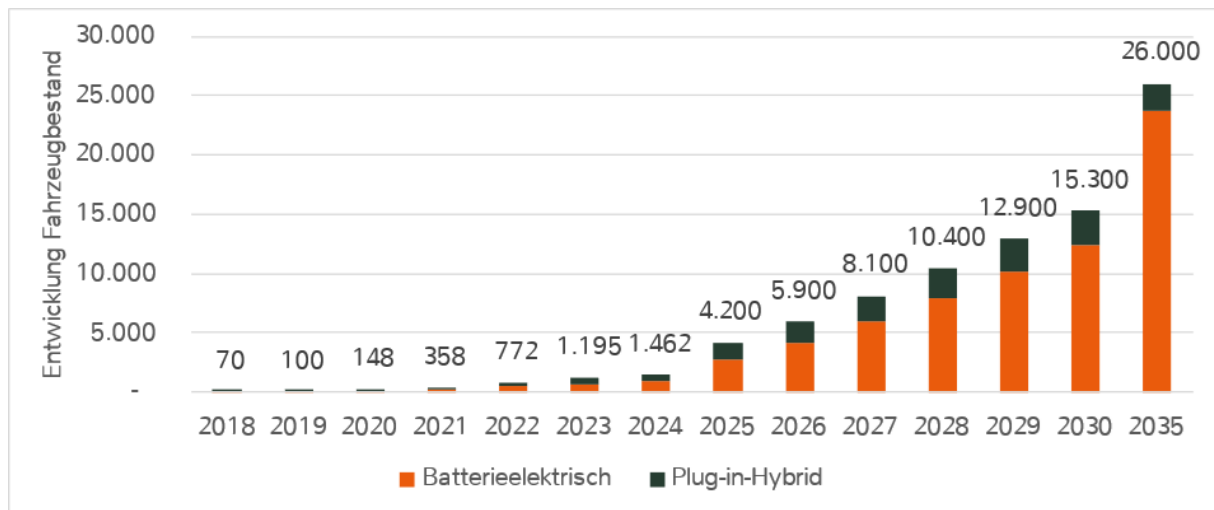


Abbildung 27: Entwicklung des Bestands an batterieelektrischen und Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen im Verlauf und im Trend bis 2035 (Eigene Abbildung in Anlehnung an [31])

Aktuell sind im Landkreis Lichtenfels für den Nah- und Fernverkehr kumuliert über alle Leistungsstufen etwa 3,1 MW an öffentlicher Ladeleistung installiert. Das High-Power-Charging (HPC) mit über 150 kW pro Ladestation machen dabei mit etwa 62 % den größten Anteil aus. Im Referenzszenario des StandortTOOLS sind die zusätzlichen Bedarfe an öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur dargestellt. Es wird dabei zwischen der Infrastruktur für den Nah- und den Fernverkehr unterschieden. Insgesamt ergibt sich für das Jahr 2030 ein zusätzlicher Bedarf von etwa 17,5 MW, bis 2035 steigt dieser auf etwa 32,6 MW an. Dabei wird für den Fernverkehr mit einem Bedarf von ca. 20 MW ausgegangen, was 60 % der benötigten öffentlichen Ladeleistung entspricht (vgl. Abbildung 28). [30]

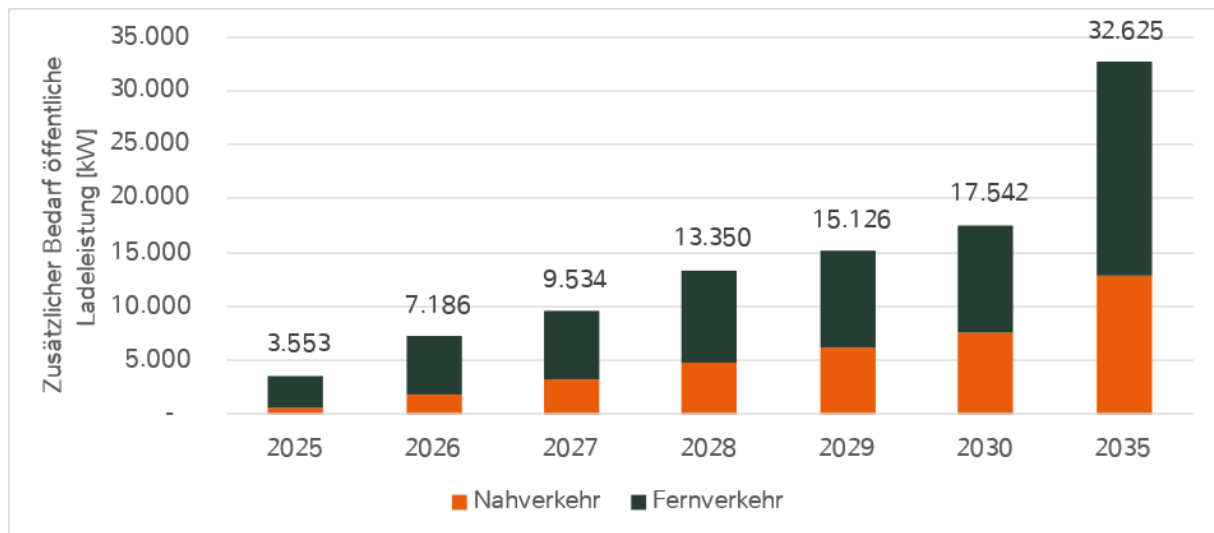


Abbildung 28: Zusätzlicher Bedarf an öffentlicher Ladeleistung bis 2035 im Referenzszenario des StandortTOOLS (Eigene Abbildung in Anlehnung an [31])

Der Bedarf an Ladeinfrastruktur ist über den gesamten Landkreis verteilt. Eine höhere Konzentration weisen die Gemeinden entlang der Hauptverkehrsachsen auf. In Abbildung 29 und Abbildung 30 sind die Bedarfe an Ladeleistung für die beiden Zieljahre 2030 und 2035 dargestellt, die sich auf der Grundlage des Referenzszenarios des StandortTOOLS ergeben. [30]

Bedarf in kW

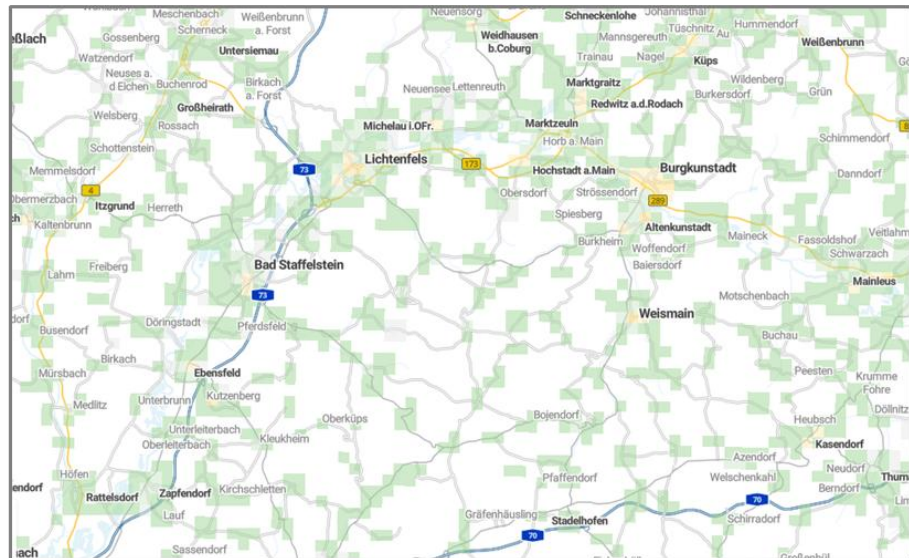
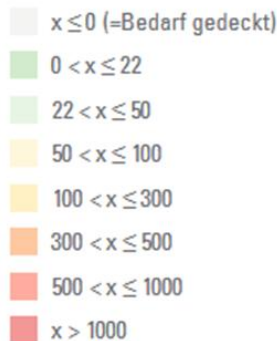


Abbildung 29: Bedarfe an Ladeleistung für das Zieljahr 2030 [31]

Bedarf in kW

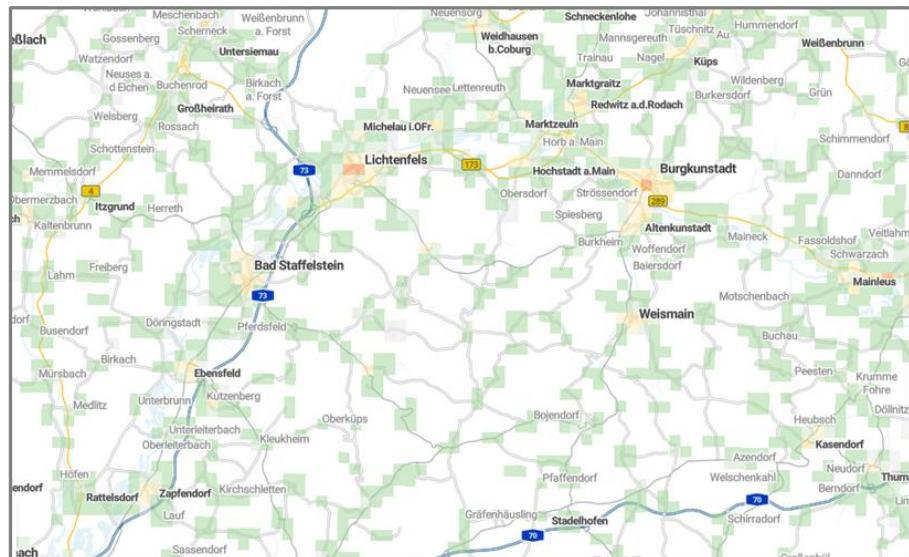
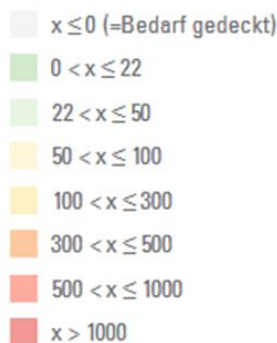


Abbildung 30: Bedarfe an Ladeleistung für das Zieljahr 2035 [31]

Dem Landkreis Lichtenfels, genauer der Stadt Lichtenfels, wurde außerdem im Zuge der Planung des Deutschlandnetzes ein Suchraum zugeteilt. Das Deutschlandnetz umfasst insgesamt mehr als 1.000 Standorte in ganz Deutschland, die für die Installation von Schnellladeinfrastruktur ausgewiesen wurden. Damit sollen die noch verbleibenden „weißen Flecken“ auf der Landkarte der Ladeinfrastruktur geschlossen werden. Das Bundesland Bayern wird dabei in der Region Süd-Ost abgebildet und umfasst drei Lose mit insgesamt 119 Suchräumen. Je Suchraum entsteht ein Schnellladestandort mit mindestens vier und bis zu 16 Ladepunkten. Der Regional-Standort im Landkreis Lichtenfels umfasst acht Ladepunkte. Die kumulierte Ladeleistung des Standorts beträgt 1,6 MW, jeder Ladepunkt

hat eine Mindestleistung von 150 kW. Der Ladestandort befindet sich derzeit in Planung, es wurden bereits Unterlagen für diesen Standort eingereicht. [32]

4.3.3 Transformationsprozesse Wasserstoffwirtschaft

Die Wasserstoffpotenziale im Landkreis Lichtenfels wurden im Rahmen eines Schwerpunktprojekts mit erarbeitet. Die folgenden beiden Kapitel widmen sich zum einen den vorhandenen Potenzialen im Landkreis und zum anderen möglichen Hochlaufsznarien für eine Wasserstoffinfrastruktur vor Ort. Eine vollständige Dokumentation des Schwerpunktprojekts ist in Kapitel 7.3 zu finden.

4.3.3.1 Wasserstoffabsatzpotenziale aus der Datenerfassung im Landkreis

Wie bereits beschrieben, wurde zu Beginn des Energienutzungsplans eine Datenerhebung bei den ansässigen Industrie- und Speditionsbetrieben bzgl. ihrer energetischen Infrastruktur und deren potenzieller Wasserstoffbedarfe durchgeführt. Die Daten bilden u.a. die Basis für die durchgeführte GIS-Analyse nach Kapitel 7.3.4.2. Mit dieser Umfrage sollte u. a. das sog. „Henne-Ei-Problem“ umgangen werden. Dieses Problem wird aktuell vielfach diskutiert: Demnach ist ein Betrieb von Wasserstofferzeugungsanlagen nur dann sinnvoll möglich, wenn Abnehmer vorhanden sind. Abnehmer gibt es aber nur, sofern die Infrastruktur vorhanden ist.

Die Rückläufer der Datenerfassung wurden nach den folgenden Wasserstoffanwendungsfällen ausgewertet und bewertet:

- Wasserstoff als Prozessgas („H2_Einsatz_Prozessgas“)
- Wasserstoff für die Prozesswärme ($> 200\text{ °C}$) („H2_Einsatz_HT_Prozesswaerme“)
- Wasserstoff für Kraft-Wärme-Kopplungsprozesse („H2_Einsatz_Fuelswitch“)
- Niedertemperaturanwendung ($< 200\text{ °C}$) („NT_Waermeeinsatz“)
- Wasserstoff für Nutzfahrzeuge („H2_Einsatz_Nutzfahrzeuge“)
 - Auswertung s. Kapitel 4.3.2
- Wasserstoff für ÖPNV („H2_Einsatz_OPNV“)
 - Auswertung s. Kapitel 4.3.2
- Wasserstoff im Individualverkehr („H2_Einsatz_Nutzfahrzeuge“)
 - Auswertung s. Kapitel 4.3.2

Die jeweiligen Wasserstoffabnahmepotenziale berechnen sich anhand der Angaben zum jetzigen Strom- bzw. Brennstoffbedarf und deren technologiespezifischen Nutzungsgraden. Die im Folgenden dargestellten, zukünftigen Bedarfe beziehen sich auf die vollständige Substitution fossiler Energieträger bei den Unternehmen im Landkreis. Die zukünftigen Wasserstoffpotenziale für Mobilitätsanwendungen werden in Kapitel 4.3.2 ausführlich behandelt und dargestellt.

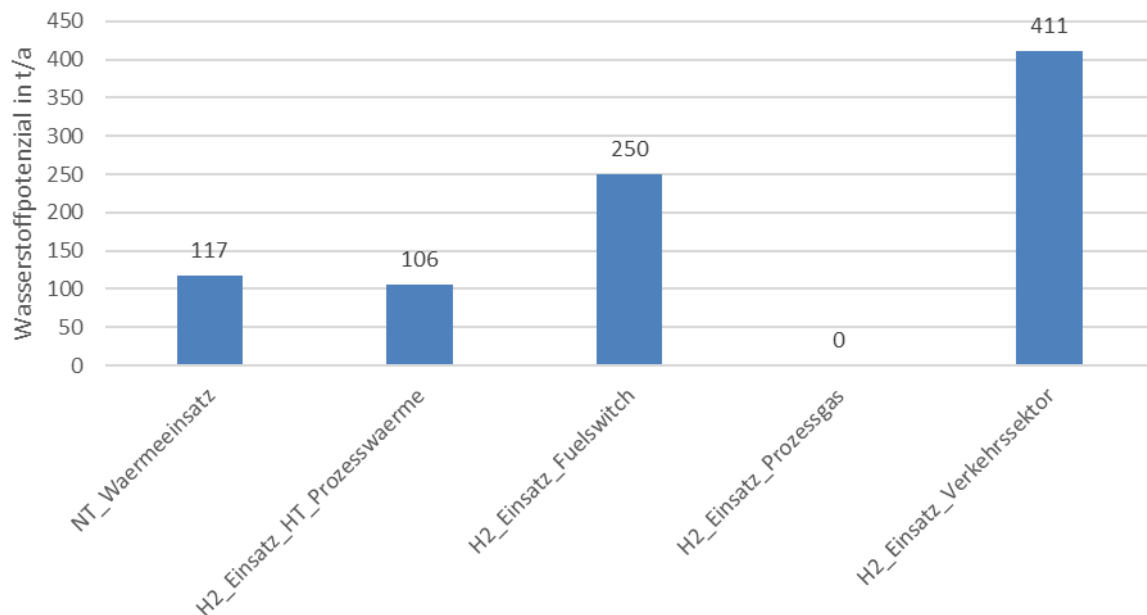


Abbildung 31: Landkreisweite Wasserstoffabsatzpotenziale zur vollständigen Substitution fossiler Energieträger bei den Unternehmen im Landkreis.

Abbildung 31 stellt die zukünftigen, möglichen Wasserstoffbedarfe zur Substitution fossiler Energieträger im Landkreis Lichtenfels dar. Es ist zu sehen, dass der kleinste Teil (ca. 106 t/a) und damit 12 % des möglichen Wasserstoffbedarfs bei den Unternehmen zukünftig zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme eingesetzt werden könnte. Die Prozesstemperaturen bei den Unternehmen liegen dabei überwiegend zwischen 200 °C und 1.200 °C. Gerade in diesen Temperaturbereichen gibt es noch wenig bzw. kaum Alternativen zur Umstellung. Demnach könnten zukünftig „grüne“ Gase wie Wasserstoff oder Biomethan hier eingesetzt werden, um die Dekarbonisierung voranzutreiben und damit CO₂-Emissionen einzusparen.

Auf den Anwendungsfall „Hochtemperatur-Prozesswärme“ folgt die mögliche Nutzung im Niedertemperaturbereich. Der zukünftig mögliche Bedarf liegt hier bei ca. 117 t/a und damit bei ca. 13 % des gesamten Wasserstoffbedarfs. Es ist davon auszugehen, dass Wasserstoff

zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser zukünftig eine untergeordnete Rolle spielen wird. Dies liegt vor allem daran, dass es effizientere Alternativen gibt und grüner Wasserstoff nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen wird. Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen in der Substituierung fossiler Energieträger für KWK-Prozesse, z.B. in BHKW und Gasturbinen, mit ca. 250 t/a bzw. 28 % des gesamten Wasserstoffbedarfs. In Summe resultiert ein theoretischer Wasserstoffbedarf von ca. 473 t/a für die Erzeugung von Wärme und Strom. Der prognostizierte Wasserstoffbedarf für den Einsatz, primär im Nutzfahrzeugsegment und ÖPNV, liegt bei ca. 411 t pro Jahr für das Zieljahr 2040.

Wie auch in der nationalen Wasserstoffstrategie beschrieben liegt der Fokus der zukünftige Wasserstoffnutzung innerhalb des ENPs vor allem beim Einsatz zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme in der Industrie und dem Einsatz in der Mobilität (Schwerlast und ÖPNV), welcher in Kapitel 4.3.2 ausführlich erläutert wird. [4]

Des Weiteren wurde auch die mögliche Sauerstoffnutzung bei den Unternehmen in die folgenden Anwendungsfällen eingestuft:

- Sauerstoff für Oxyfuel-Anwendungen („Sauerstoffbedarf_Oxyfuel“)
- Sauerstoff für sonstige Anwendungen („Sauerstoffbedarf_sonstiges“)

Aus der Datenerfassung gehen keine signifikanten Sauerstoffbedarfe hervor.

Abbildung 32 stellt die innerhalb der Datenerfassung identifizierten, möglichen Wasserstoffsinken im Landkreis Lichtenfels georeferenziert als sog. Punktlayer dar. Es ist zu sehen, dass sich ein Großteil der Unternehmen, welche an der Datenerfassung teilgenommen haben, im südlichen Teil des Landkreises befinden. Der erhobene und ausgewertete Datensatz zum zukünftigen Wasserstoffbedarf in der Region fließt in die Potenzialanalyse mit ein.

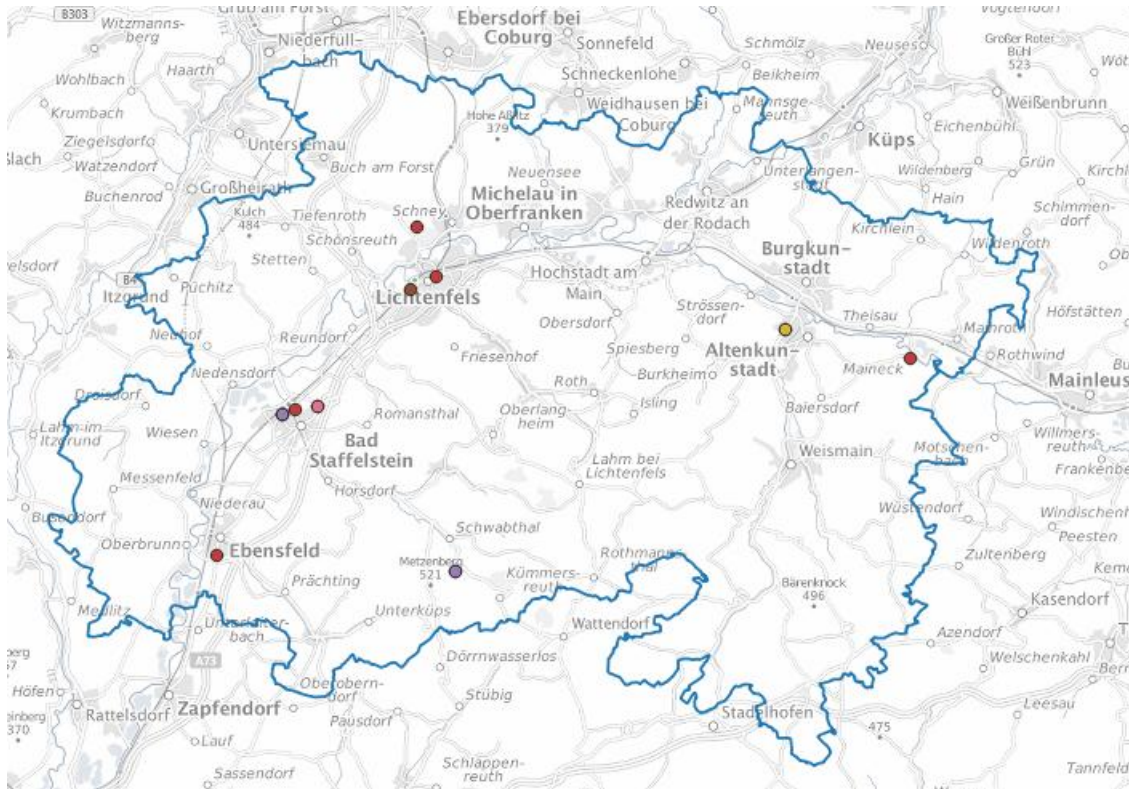


Abbildung 32: Georeferenzierte Darstellung der möglichen Wasserstoffabnehmer nach der Datenerfassung.

4.3.3.2 Wasserstoffhochlauf- und Erzeugungsszenarien im Landkreis

Im Rahmen des ENPs werden zwei mögliche Wasserstoffproduktions- und Verteilungsszenarien abgebildet. Diese Szenarien basieren auf der Abfrage bei den Unternehmen, im Landkreis, auf den erhobenen Daten zum Thema Mobilität und auf Basis der Standortwahl aus Kapitel 7.3.5. An der Umfrage haben insgesamt 14 Unternehmen teilgenommen. Zusammen mit dem Landkreis Lichtenfels wurden so die nachfolgenden Szenarien bzw. Fälle aufgestellt und betrachtet.

Gerade beim Hochlauf einer Wasserstoffinfrastruktur ist es wichtig, eine geeignete Elektrolysekapazität aufzubauen und bei steigendem Wasserstoffbedarf erweitern zu können und so den regionalen Hochlauf von Wasserstoff in der Region voranzutreiben. So wäre z.B. die Erhöhung der Vollbenutzungsstunden eines Elektrolyseurs im Laufe der Jahre und damit die Anpassung der Wasserstoffproduktion an eine erhöhte Nachfrage möglich. Eine steigende Nachfrage an grünen Wasserstoff fördert die Wirtschaftlichkeit der Erzeugungsanlagen und der Verteilungsinfrastruktur.

In Abbildung 33 sind die unter Punkt 7.3.5.2 aufgezeigten Fälle als Hochlaufkurven dargestellt. Nach aktuellem Stand ist es schwierig, einen genauen Bedarf von Wasserstoff bis in das Jahr 2040 sicher abzubilden. So wird sich der Wasserstoffbedarf im Zieljahr 2040 im Bereich zwischen 240 t pro Jahr und 1.000 t pro Jahr bewegen. Im Szenario Mittelweg wird zukünftig von einem Wasserstoffbedarf in den Sektoren Industrie und Mobilität von 190 t/a im Jahr 2030 und 760 t/a im Jahr 2040 ausgegangen. Im Szenario Mittelweg (orange, gestrichelte Linie) wurden bereits mögliche Effizienzsteigerungen gegenüber dem abgefragten Potenzial aus der Datenerfassung und Abbildung 31 berücksichtigt. Zudem ist das abgefragte Potenzial aus der Datenerfassung ohne Effizienzsteigerungen als blaugestrichelte Kurve eingezeichnet.

Den Bedarfen sind die möglichen Erzeugungskapazitäten gegenübergestellt. So ist an der Kläranlage Bad Staffelstein die Errichtung eines 5 MW Elektrolyseurs denkbar, welcher Wasserstoff für die nahegelegene Industrie und einer möglichen, zukünftigen Wasserstofftankstelle entlang der Autobahn A73 im Landkreis bereitstellen kann. Zusätzlich könnte ein Teil des anfallenden Sauerstoffs zukünftig in der Kläranlage direkt genutzt werden. Perspektivisch ist auch die Abwärmenutzung aus der Elektrolyse an der Kläranlage

oder in Bad Staffelstein denkbar. Wie bereits erwähnt kann sich ein PEM-Elektrolyseur flexibel an Wasserstoffbedarf und die Bereitstellung elektrischer Energie anpassen.

Aus dem Diagramm (gelbe Linie) geht hervor, dass ein 5 MW Elektrolyseur mit 4.000 bis 6.000 Vollbenutzungsstunden nicht alleinig den gesamten Wasserstoffbedarf im Landkreis decken kann. Im Rahmen des ENPs wurden zusätzlich mögliche Pfade für die Verwertung des anfallenden Klärschlammes untersucht (vgl. Kapitel 7.2). Aus der Untersuchung ergab sich ein zusätzliches Wasserstofferzeugungspotenzial an den Kläranlagen im Landkreis. Über eine alternative Verwertungstechnologie, welche auf einen thermochemischen Prozess nutzt, wäre die Produktion von bis 200 t/a im Jahr 2040 möglich. Ein möglicher Standort einer solchen Anlage könnte die Kläranlage Bad Staffelstein sein. Das gesamte Erzeugungspotenzial ist der gelben Linie im Diagramm zu entnehmen. Zusammen mit der alternativen Wasserstoffproduktion aus Klärschlamm und Grüngut könnte ein flexibler 5-MW-PEM-Elektrolyseur und 6.000 Vollbenutzungsstunden an der Kläranlage den gesamten Wasserstoffbedarf des Mittelwegsszenarios im Landkreis für das Jahr 2040 abdecken.

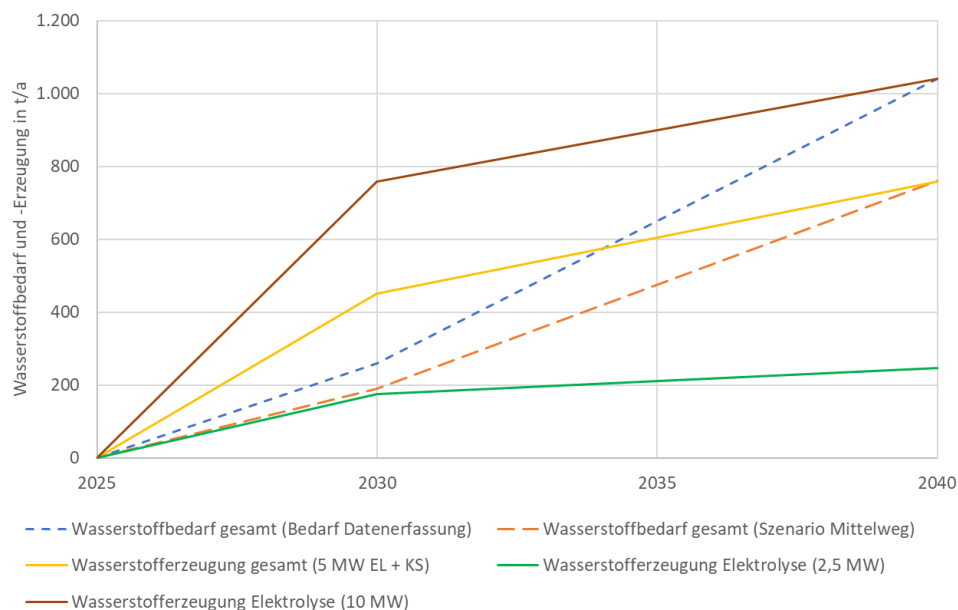


Abbildung 33: Wasserstoffhochlauf im Landkreis Lichtenfels bis 2040.

Die in grün dargestellte Wasserstoffproduktionskurve im Diagramm stellt die Wasserstoffversorgung einer Mikrogasturbine im Norden von Bad Staffelstein per Direktleitung dar. So könnte zukünftig ein 2,5 MW-PEM-Elektrolyseur die Versorgung des Standorts mit grünem Wasserstoff übernehmen. Nach diesem Szenario kann die Wasserstoffversorgung schrittweise bis 2040 auf bis zu 240 t/a erweitert, in dem die

Vollbenutzungsstunden des Elektrolyseurs schrittweise von anfangs 4.000 auf bis zu 6.000 im Jahr 2040 erhöht werden.

Die in braun dargestellte Kurve zeigt den Produktionsverlauf eines 10 MW-PEM-Elektrolyseurs, welcher mit 4.300 Vollbenutzungsstunden bereits im Jahr 2030 den Wasserstoffbedarf von 760 t im Landkreis mehr als decken kann. Dabei handelt es sich um einen Betrachtungsfall ohne konkreten Standort. Es ist möglich, einen solchen Elektrolyseur z.B. an einem Umspannwerk oder aber auch z.B. an einer Kläranlage oder auf einem Firmengelände zu errichten. Bei Erhöhung der Vollbenutzungsstunden auf 6.000 im Jahr 2040 könnte weiterhin ein Überschuss an Wasserstoff zu Exportzwecken produziert werden. Es ist möglich, dass im Rahmen der Datenerfassung abgefragte Potenzial (blau gestrichelte Linie) 2040 zu decken. Es ist nicht ausgeschlossen, dass es im Landkreis zukünftig weitere Wasserstoffabnehmer geben wird. Der produzierte Wasserstoff kann mittels Trailer abtransportiert werden. Zudem ist es denkbar, zukünftig Wasserstoff in ein Gasnetz einzuspeisen. Damit würden sich die Kosten eines Trailertransports reduzieren.

4.4 Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien

4.4.1 Photovoltaik-Aufdach

Bevor die einzelnen Szenarien der EE definiert werden können, muss zunächst das technische Potenzial⁴ ermittelt werden, welches bestimmt, wie groß das vorhandene Ausbaupotenzial ist. Für Photovoltaik (PV)-Aufdach wird dieses Potenzial mittels einer Analyse des vorhandenen Solarpotenzialkatasters des Landkreis Lichtenfels ermittelt.

4.4.1.1 Solarpotenzialkataster

Grundlage für das Solarpotenzialanalyse sind Laserscandaten, die beim Überfliegen des jeweiligen Untersuchungsgebiets 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

⁴ Begriffsdefinition siehe Kapitel 4.1.3

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 PV auf Dachflächen im Landkreis Lichtenfels. Abbildung 34 zeigt einen Auszug aus dem Solarpotenzialkataster im Landkreis [33].

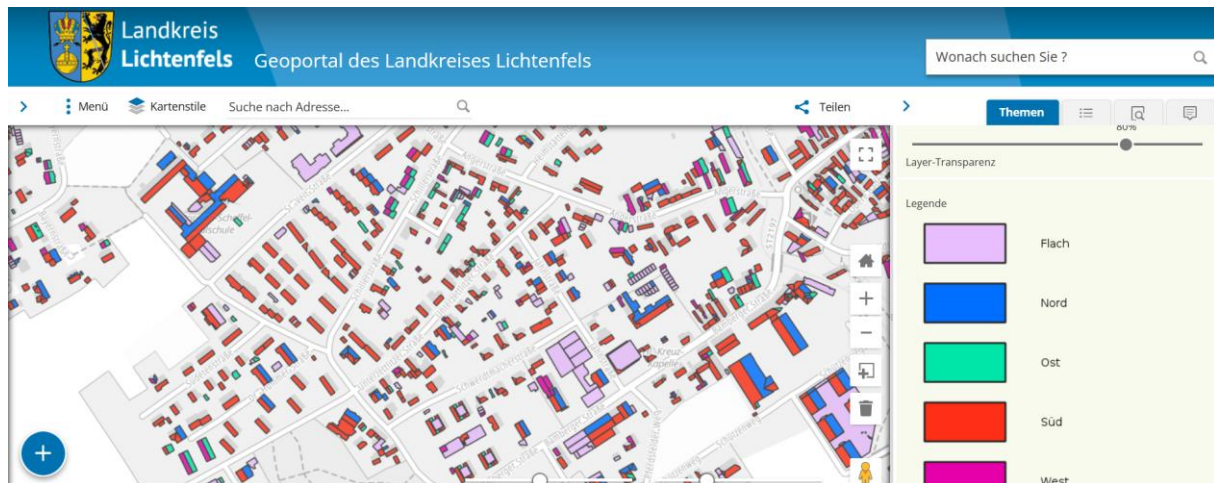


Abbildung 34: Auszug aus dem Solarpotenzialkataster [33]

Aus der Analyse des Solarpotenzialkatasters und einem spezifischen Ertrag der PV-Anlage von 950 kWh/kW_p ergibt sich ein theoretisches Potenzial von rund 993.353 MWh/a . Davon wird ein pauschaler Abschlagsfaktor in Höhe von 30 % angesetzt, welcher potenzielle Hemmnisse in der praktischen Umsetzung (z. B. statische Gründe, Denkmalschutz) berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein technisches Gesamtpotenzial von 673.548 MWh/a . Dies entspricht einem Ausbaupotenzial von rund 619.553 MWh . Für die Berechnung des technischen Potenzials für PV-Aufdach wird der Solarthermie auf Wohngebäuden ein Vorrang gegenüber PV eingeräumt, welcher bilanziell aber keine Einbußen nach sich zieht. Die Potenziale von Solarthermie werden im nachfolgenden Kapitel betrachtet.

In Abstimmung mit den lokalen Akteuren wurde angesetzt, im Energieszenario für das Jahr 2040 eine Erhöhung auf 30 % des Ausbaupotenzials anzusetzen. Dies würde rund einer Vervierfachung des Wertes aus dem Ist-Zustand im Jahr 2021 entsprechen. Abbildung 35 verdeutlicht das derzeit genutzte, das im Szenario 2040 angestrebte sowie das insgesamt technisch verfügbare Potenzial von Photovoltaik auf Dachflächen. Während aktuell rund 54 Mio. kWh/a genutzt werden, sieht das Szenario 2040 eine deutliche Steigerung auf knapp

239 Mio. kWh/a vor. Im Vergleich zum technischen Potenzial in Höhe von ca. 674 Mio. kWh/a entspricht dies einem angestrebten Nutzungsgrad von etwa 35 %.

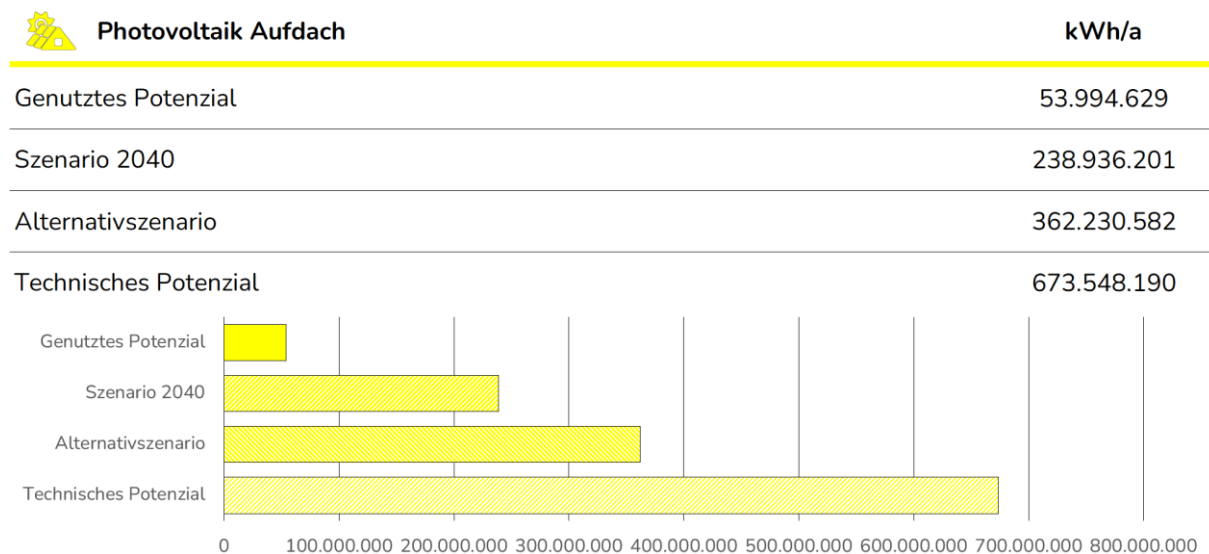


Abbildung 35: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Solarstrom auf Dächern im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.

4.4.2 Solarthermie

Viele der für solare Nutzung geeigneten Dachflächen (siehe Solarkataster) können sowohl für die Installation von PV-Anlagen als auch für die Installation von Solarthermieanlagen für die Stromproduktion genutzt werden. Aufgrund der direkten Standortkonkurrenz der beiden Techniken muss dabei eine prozentuale Verteilung berücksichtigt werden. Derzeit sind im Betrachtungsgebiet bereits Solarthermieanlagen mit einer Gesamtfläche von rund 25.000 m² installiert.

Das theoretische Potenzial von Solarthermie wird allgemein als hoch eingeschätzt. Eine gebäudebezogene Betrachtung des erschließbaren solarthermischen Potenzials ist ebenfalls über das Solarkataster einsehbar. Ein zu forcierendes Ziel wäre z. B. eine möglichst hohe Abdeckung des Endenergieverbrauchs für Wärme zur Warmwassererzeugung bei Wohngebäuden. Statistisch entfallen bei Wohngebäuden zwischen 15 – 20 % des gesamten Endenergieverbrauchs für Wärme auf die Warmwasserbereitung. Um ein praxisbezogenes Ausbaupotenzial für Solarthermie zu bestimmen, wird als Randbedingung ein Deckungsziel des Warmwasserverbrauchs in der Verbrauchergruppe "Private Haushalte" anvisiert. Mit der Annahme, dass 17,5 % des Gesamtendenergieverbrauchs für Warmwasser genutzt werden,

wird für das technische Potenzial angenommen, diesen Warmwasserbedarf zu 100 % mit Solarthermie zu decken. Zusammen mit einem spezifischen Ertrag für Solarthermie von 500 kWh/m² Kollektorfläche pro Jahr ergibt sich ein technisches Potenzial von 111.300 m² Kollektorfläche oder 55.669 MWh. Der zukünftige Ausbau von Solarthermie ist schwerer einzuschätzen als bei PV-Aufdach. Für das Energieszenario 2040 wird ein solarer Deckungsanteil von 40 % des Warmwasserbedarfs angenommen. Dies würde rund einer Verdopplung der von Solarthermie bereitgestellten Energie entsprechen.

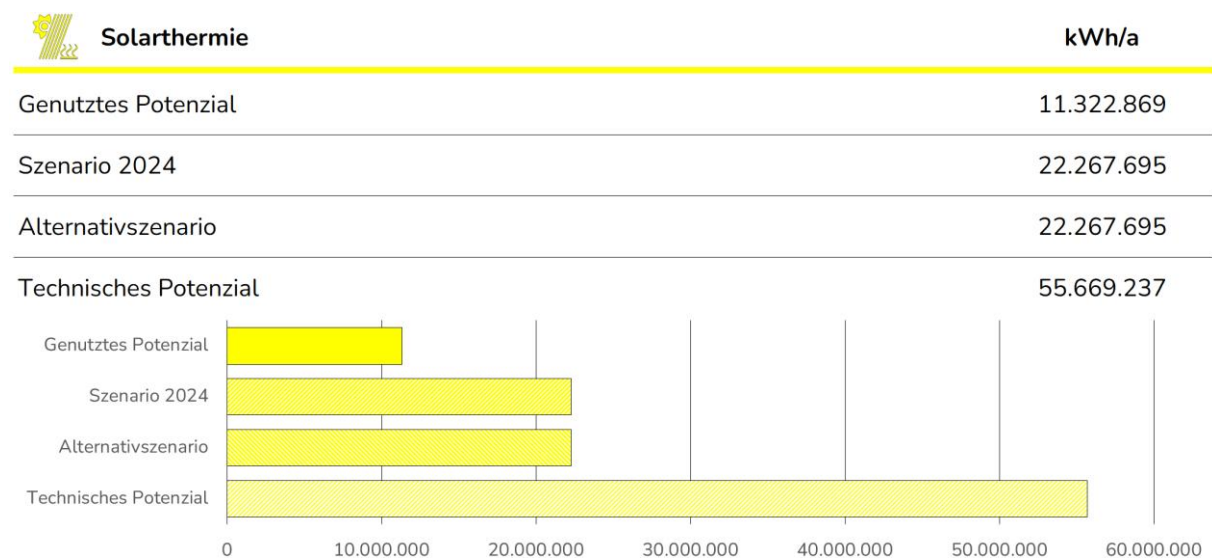


Abbildung 36: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Solarthermie im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.

4.4.3 Photovoltaik-Freifläche

Neben der Nutzung von geeigneten Dachflächen besteht die Möglichkeit, PV auf bestimmten Frei- oder Konversionsflächen zu installieren. Ähnlich wie bei Flachdächern kann hier die Ausrichtung der zu installierenden Anlage optimal gewählt werden. Im Bilanzjahr 2021 waren PV-Freiflächen-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 60.167 kW_p im Landkreis installiert, die rund 28.282 MWh regenerativen Strom ins Stromnetz eingespeist haben.

Als Basis für die Ermittlung der Potenziale innerhalb des Energienutzungsplans, wurde ein standardisierter Kriterienkatalog des IfE herangezogen. Dieser zeigt potenzielle Flächen für die Installation von PV-Freiflächenanlagen im Landkreis auf, wodurch - unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit - die Belange der sauberen Energieerzeugung und des Klimaschutzes

nachvollziehbar mit den Belangen der Nahrungsmittelerzeugung, des Landschaftsbildes und des Naturschutzes zusammengeführt werden. Ein Auszug kann in Abbildung 37 eingesehen werden.

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 Feldvogelkulis: 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, Steinschlag, 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 37: Auszug des Kriterienkatalogs für PV-Freiflächen

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

Auf dem Kriterienkatalog basierend ergeben sich die potenziellen Flächen, die grundsätzlich alle Kriterien einhalten würden. Die gelben Flächen entsprechen hierbei allen Potenzialflächen gemäß Kriterienkatalog. Die dunkelrot gekennzeichneten Flächen entsprechen den privilegierten Flächen entlang der Autobahnen bzw. den mindestens zweigleisigen Schienenwegen (gemäß §35 Baugesetzbuch). Nach dem Kriterienkatalog ergibt sich im Landkreis Lichtenfels ein technisches Potenzial von 4.406 ha, davon sind 499 ha privilegiert, siehe Abbildung 38.

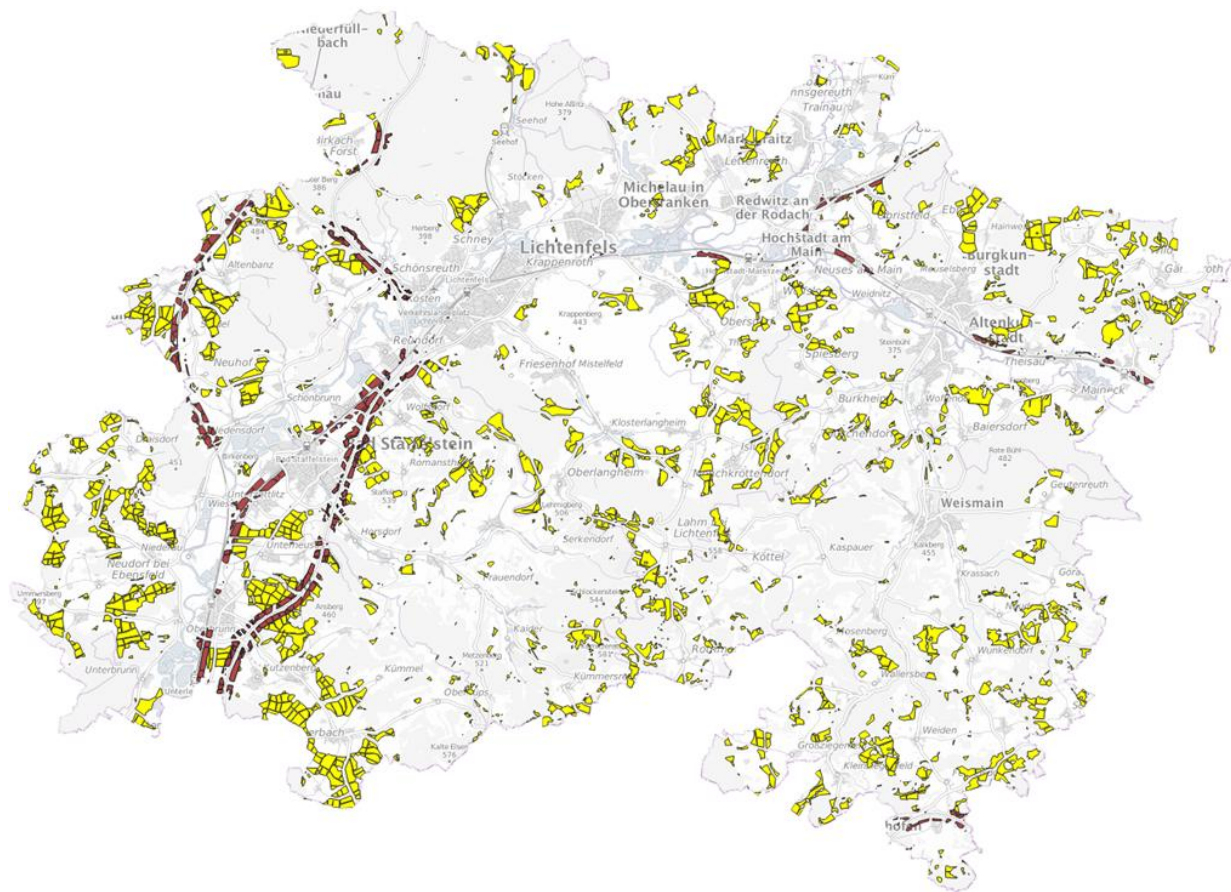


Abbildung 38: Potenzialgebiete gemäß Kriterienkatalog

Um insbesondere dem Nahrungsmittelanbau den überwiegendem Vorrang der Flächen einzuräumen, wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine Flächenbegrenzung für Freiflächenphotovoltaik vorgesehen. Im Energieszenario wird der Ausbau der Freiflächenphotovoltaik bis 2040 auf 1,5 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche im Landkreis angesetzt, was rund 356 ha entspricht. Mit den Annahmen, dass eine Leistung von 1.000 kW_p pro Hektar und ein spezifischer Ertrag der PV-Freiflächen von 1.000 kWh/kW_p erreicht werden, wird eine Energieerzeugung von rund 345.200 MWh im Jahr 2040 ermittelt.

Abbildung 39 stellt das aktuell genutzte, das im Szenario 2040 angesetzte sowie das insgesamt technisch mögliche Potenzial der Freiflächenphotovoltaik im Landkreis gegenüber.

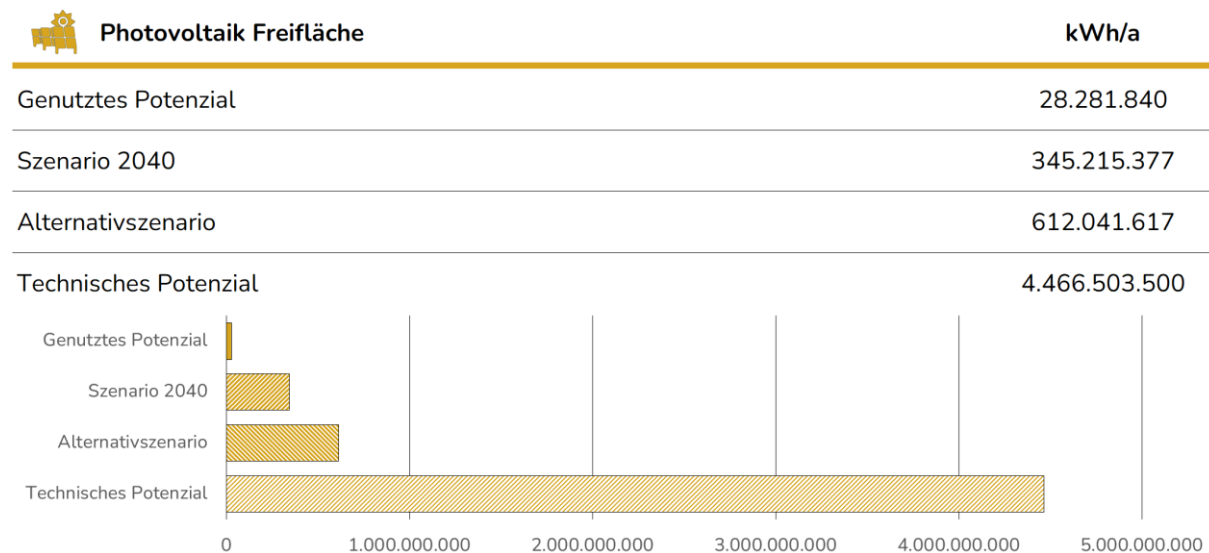


Abbildung 39: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von PV-Strom aus Freiflächen im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.

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 ist. Für Bayern lautet dieser 1,1 Prozent der Landesfläche bis 2027 und 1,8 Prozent der Fläche bis Ende 2032. Zuständig hierfür sind die 18 regionalen Planungsverbände in Bayern. Sollten diese Ziele nicht erreicht werden, hält sich der Bund eine vollständige Privilegierung von Windkraftanlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) vor [34]

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 - 2.500m) auf 1.000m reduziert [35].

Im Ist-Zustand sind im Landkreis Lichtenfels 5 Windkraftanlagen installiert, welche rund 23.000 MWh Strom im Jahr 2021 erzeugt haben.

Für die Betrachtung des technischen Potenzials wurde auf georeferenzierte Daten des regionalen Planungsverband Oberfranken-West zurückgegriffen. Sie enthalten Daten des Regionalplans (Stand 18.10.2024) der enthaltenen Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für

Windkraftanlagen für das gesamte Landkreisgebiet Lichtenfels [36]. Diese Gebietskulisse ist Grundlage der eigenen GIS-Analyse zur Identifikation des technischen Gesamtpotenzials. Ergänzend werden weitere Parameter berücksichtigt:

- Maximal zulässige Bauhöhen (Militär)
- Georeferenzierte Windgeschwindigkeiten
- Datenblätter Windkraftanlagen
- Nabenhöhen
- Standort und optimierte Ausrichtung der Windkraftanlagen
- Abstand der Windkraftanlagen untereinander

Auf Basis dieser Gebietskulisse hat sich ergeben, dass maximal rund 47 Windkraftanlagen in den Gebieten gemäß dem neuen Regionalplan Windkraft möglich wären. Dieses technische Maximalpotenzial ist in Abbildung 40 einsehbar. Bei der Ertragsanalyse aus Windkraft werden Anlagen mit einer Leistung von 7,2 MW angesetzt.

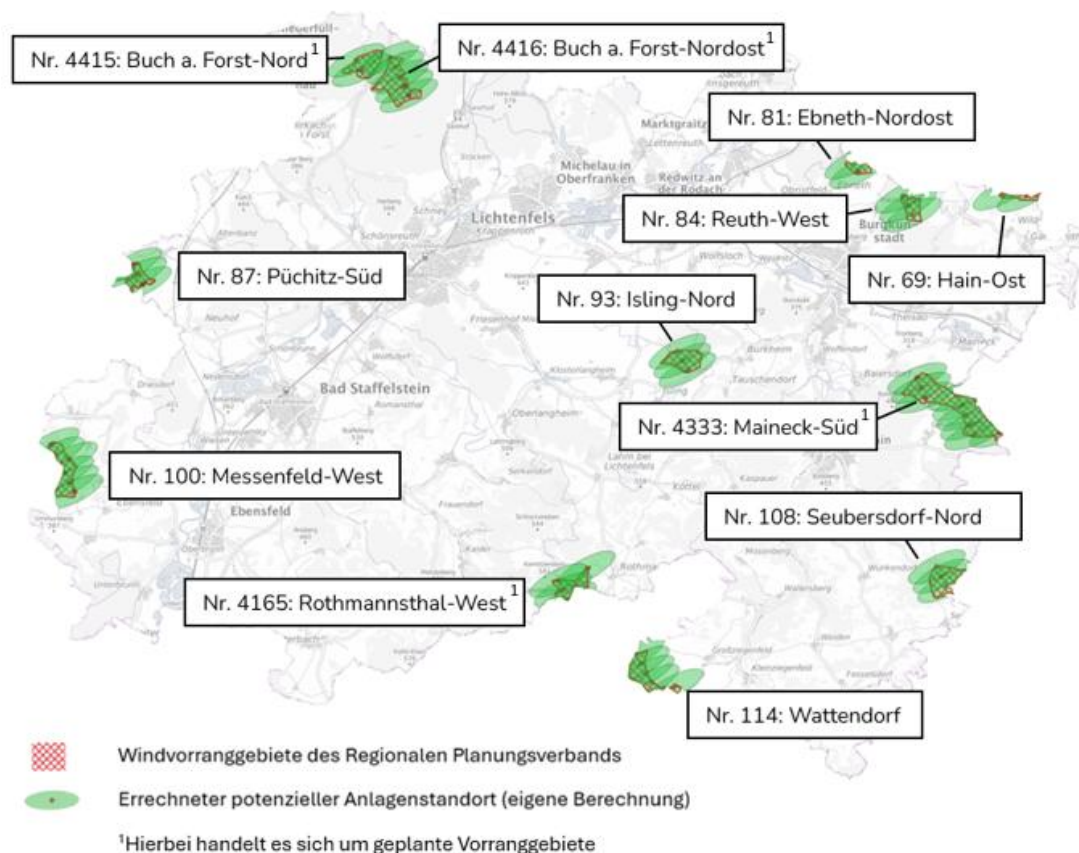


Abbildung 40: Technisches Potenzial der GIS-Analyse

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde angesetzt, dass im Energieszenario 50 % der kommunenspezifischen Potenziale bis zum Jahr 2040 genutzt werden, was insgesamt 25 Windkraftanlagen entsprechen würde. Hierbei wird die Annahme getroffen, dass im Jahr 2040 ausschließlich neue Windkraftanlagen installiert sind. Dies bedeutet, dass die genannte Anzahl an Windkraftanlagen inkl. möglicher Repoweringanlagen zu verstehen ist.

Abbildung 41 veranschaulicht das derzeit genutzte, das im Szenario 2040 angestrebte sowie das insgesamt technisch mögliche Potenzial der Windenergie im Landkreis.

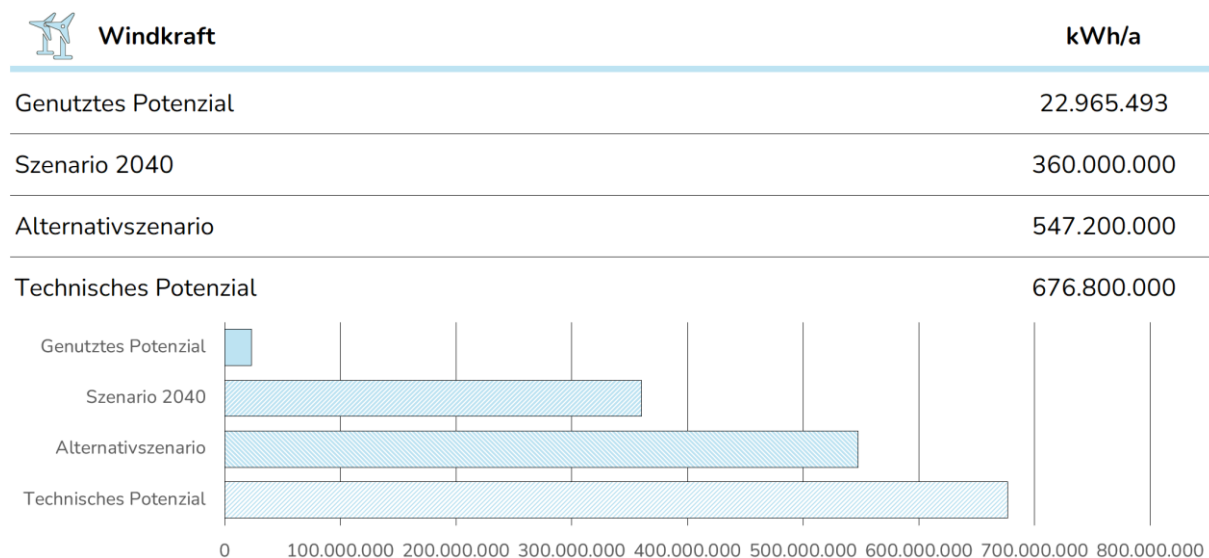


Abbildung 41: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Strom aus Windkraft im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.

4.4.5 Biogasanlagen

Im Landkreis Lichtenfels spielt Biogas eine wichtige Rolle. So werden im Ist-Zustand bereits rund 31.000 MWh regenerativer Strom erzeugt. Damit sind rund 20 % der gesamten Stromeinspeisung im Landkreis auf Biomasse-KWK zurückzuführen. Des Weiteren wird eine Reihe an Wärmenetzen über die Abwärme der Biogasanlagen versorgt. Im Jahr 2022 konnte eine thermische Nutzung von rund 11.000 MWh ermittelt werden (Datenerhebungsbögen).

Um für den Landkreis eine realistische Einschätzung bis 2040 zu entwickeln, wurde sich innerhalb des Energienutzungsplans am 14.01.2025 in einem Fachforum Biogas, bei dem neben Biogasanlagenbetreibern auch weitere Fachexperten, wie beispielsweise Vertreter des Landratsamtes und Wärmenetzbetreiber teilgenommen haben, abgestimmt, um die

lokale Expertise und Einschätzungen zu berücksichtigen. Es wird für wahrscheinlich gehalten, dass vereinzelt Biogasanlagenbetreiber ihre Anlage stilllegen könnten, nachdem die 20 Jahre EEG-Förderung der Anlage abgelaufen sind. Einige Flächen könnten dann von anderen Biogasanlagenbetreibern übernommen werden, sodass realistisch im Jahr 2040 eine unveränderte Stromerzeugungsmenge im Vergleich zum Ist-Zustand angenommen wird.

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. Gleichzeitig spielt die Nutzung der Abwärme für den Landkreis eine wichtige Rolle, da eine Vielzahl der Wärmenetze mit Biogas versorgt werden. Mit der gesetzlichen Änderung des "Biomassepakets" wird nun jedoch ein Fokus auf die Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Biogasanlagen gesetzt, was zu hohen technischen Herausforderungen bei der für den Betrieb von Wärmenetzen erforderlichen kontinuierlichen Wärmebereitstellung führt (insbesondere in den Wintermonaten). Ohne Biogasanlagen müssten für diese Wärmenetze neue Energiequellen gefunden und installiert werden, was u. a. zu höheren Kosten führen würde. Andererseits sehen Behörden und Fachverbände die Verbesserung der Flächeneffizienz von Biogasanlagen auch als wichtige zukünftige Anforderung. So wird zukünftig auch verstärkt eine Nutzung von biogenen Abfallstoffen angestrebt.

4.4.6 Holzartige Biomasse

Der Landkreis Lichtenfels weist eine Waldfläche von 18.441 ha auf [37]. Über die Auswertungen der Datengrundlage im Landkreis wurde für das Jahr 2021 ermittelt, dass etwa 147.290 MWh Endenergie aus holzartiger Biomasse für den Wärmebedarf aufgewandt wurden. Der Begriff „Holzartige Biomasse“ meint zusammenfassend Stückholz, Holzpellets, Hackschnitzel etc.

Technisches Gesamtpotenzial:

Insbesondere die aktuellen Berechnungen der LWF stellen eine wesentliche Grundlage für die Potenzialanalyse im Bereich der holzartigen Biomasse dar. Im Wesentlichen sind drei Quellen in diesem Zusammenhang von Bedeutung: Waldderbholz, Flur- und Siedlungsholz sowie Altholz. Während die LWF detaillierte Betrachtungen zu den Punkten Waldderbholz und Flur- und Siedlungsholz angestellt und veröffentlicht hat, konnte das Aufkommen an Altholz mit Hilfe der vorliegenden Abfallstatistiken ermittelt werden.

Energieholz aus Forstwirtschaft

Die Betrachtungen der LWF in Bezug auf Waldderbholz geben die jährlich anfallende Energiemenge aus Holz oberhalb der Derbholzgrenze (>7 cm Durchmesser) an. Das potenzielle Holzaufkommen wurde auf Basis von Stichprobenflächen der dritten Bundeswaldinventur und unter Berücksichtigung von LWF-eigener Studien zum Waldumbau (im Zusammenhang mit der Anpassung der Wälder an den Klimawandel) ermittelt. Der energetisch nutzbare Anteil am Holzaufkommen wurde aus bekannten Holzeinschlagserhebungen, aus welchen die unterschiedliche Sortierungspraxis von Kleinprivatwald und größeren Forstbetrieben ersichtlich ist, abgeleitet. Der Anteil des Energieholzes in Privatwäldern ist beispielsweise größer als in von großen Forstbetrieben bewirtschafteten Wäldern. Die Flächen der Besitzarten und -größen konnten über das automatisierte Liegenschaftsbuch ermittelt werden. Nach Analysen der LFW beläuft sich das energetische Potenzial auf 170.916 MWh/a.

Flur- und Siedlungsholz

Auch bei der Analyse des Aufkommens an Flur- und Siedlungsholz wurde auf Berechnungen der LWF zurückgegriffen [1]. Es handelt sich dabei um eine Potenzialberechnung unter Verwendung unterschiedlicher Fernerkundungs-, Modellierungs- und Inventurdatensätze. Es gibt die erzielbare Energiemenge aus Gehölzen, Hecken und Bäumen im Offenland an. Basis sind unter anderem Flächendaten aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) und dem digitalen Oberflächenmodellen. Zudem wird sich auch hier auf Daten aus der dritten Bundeswaldinventur und die damit in Verbindung stehende Analyse von Stichprobenflächen gestützt.

Die LWF merkt an, dass es sich dabei um das theoretisch vorhandene Energiepotenzial handelt und nicht final abgeleitet werden kann, zu welchem Grad diese theoretischen Potenziale in der Praxis tatsächlich nutzbar gemacht werden können. In Summe beträgt das theoretische Potenzial 14.333 MWh.

Altholz

Laut Abfallbilanz fielen im Jahr 2022 im Betrachtungsgebiet pro Einwohner 40,7 kg Altholz an [38]. Ähnlich wie zuvor beim Aufkommen an Landschaftspflegeholz, steht auch diese Menge nur theoretisch vollständig zur Verfügung. In der Praxis wird diese Fraktion allerdings nur zu etwa 40 % einer energetischen Verwertung zugeführt. Der Rest erfährt eine stoffliche Verwertung. Unter Berücksichtigung der Einwohnerzahl im Betrachtungsgebiet steht somit eine Altholz-Menge von rund 1.140 t zur energetischen Nutzung zur Verfügung, was einer Energiemenge von rund 5.020 MWh/a entspricht.

→ Insgesamt ergibt sich anhand der Berechnungen des LWF ein rechnerisches Gesamtpotenzial von 190.270 MWh, was einem Ausbaupotenzial in Höhe von rund 29 % für den Landkreis entsprechen würde.

Abstimmung mit regionalen Fachexperten

Zur Verifizierung der Potenzialberechnung für die energetische Holznutzung wurde die Expertise der bayerischen Staatsforsten (Forstbetrieb Coburg) und der Waldbesitzervereinigung Lichtenfels-Staffelstein hinzugezogen.

Aus der Sicht der Fachexperten besteht derzeit ein beachtliches Potenzial zur energetischen Nutzung von Holz, insbesondere in Form von Hackschnitzeln. Ein zentrales Thema bei der Potenzialbewertung ist der Borkenkäferbefall, der in den vergangenen Jahren erhebliche Schäden verursacht hat. Regional wird jedoch davon ausgegangen, dass der Befall perspektivisch zurückgehen könnte – insbesondere auf Flächen mit hohem Laubholzanteil. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass Borkenkäferholz auch langfristig jährlich anfällt und damit ein kontinuierlich verfügbares Potenzial für die energetische Nutzung darstellt.

Vor diesem Hintergrund wird im Energienutzungsplan eine vorsichtige Steigerung der Energieholznutzung um 20 % im Vergleich zum heutigen Verbrauch angenommen. Dieses Ziel berücksichtigt sowohl das vorhandene Rohstoffpotenzial als auch ökologische und strukturelle Rahmenbedingungen, die für eine nachhaltige Holznutzung im Landkreis maßgeblich sind.

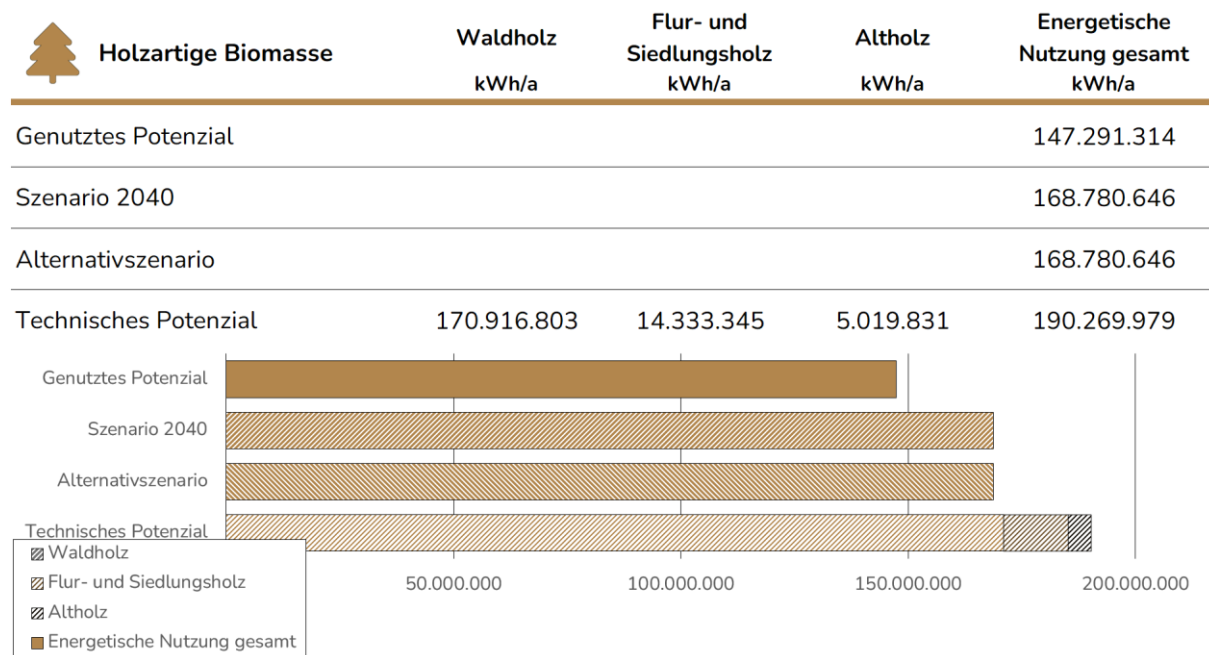


Abbildung 42: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von holzartiger Biomasse im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.

4.4.7 Wasserkraft

Die Wasserkraft spielt im Landkreis Lichtenfels eine stabile und verlässliche Rolle innerhalb des regenerativen Energiemixes. Insgesamt 39 Laufwasserkraftwerke speisten im Jahr 2021 rund 17 Mio. kWh Strom ins Netz ein. Ein Großteil dieser Anlagen bewegt sich im kleinen Leistungsbereich zwischen 10 und 300 kW.

Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine detaillierte Datenerhebung bei 15 Anlagen durchgeführt, auf deren Grundlage technische Ausbau- und Modernisierungspotenziale analysiert wurden. Die Auswertung ergab, dass durch gezielte Effizienzmaßnahmen – etwa durch die Optimierung von Turbinen, eine gezieltere Regelung und Automatisierung – bei vielen bestehenden Anlagen ein technisches Potenzial zur Ertragssteigerung von durchschnittlich 15 % besteht. Dieses Potenzial wurde konservativ abgeschätzt und beruht auf der vorhandenen Anlagentechnik, den Ausbauparametern (z. B. Fallhöhe, Durchflussmenge) sowie den bisherigen Jahreserträgen. Darüber hinaus existieren weitere Potenziale, die sich durch eine Anpassung der wasserbaulichen Rahmenbedingungen ergeben könnten – zum Beispiel durch eine bauliche Optimierung der Fallhöhen oder eine Erweiterung der Ausbauwassermenge. Diese erfordern jedoch

weitergehende individuelle Detailprüfungen und gegebenenfalls wasserrechtliche Genehmigungsverfahren. Auch einige bestehende, derzeit stillgelegte oder nur im Eigenverbrauch betriebene Anlagen bieten Ansatzpunkte für eine Reaktivierung oder Wiederaufnahme des vollen Netzeinspeisebetriebs.

Begleitend wurde am 16.01.2025 ein Fachforum mit Betreibern und Fachakteuren durchgeführt, das wichtige Erkenntnisse zu aktuellen Herausforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten lieferte. Dabei wurde deutlich, dass weniger das technische Potenzial, sondern vielmehr bürokratische Hürden, lange Genehmigungsverfahren sowie teilweise widersprüchliche naturschutzfachliche Anforderungen einer Weiterentwicklung entgegenstehen. Auch Unsicherheiten im Bereich der Förderung und fehlende Unterstützung bei Planung und Umsetzung von Effizienzmaßnahmen wurden von Betreiberseite thematisiert. Gleichzeitig wurde die Wertigkeit des erzeugten Stroms hervorgehoben – insbesondere dessen Regelbarkeit, Planbarkeit und geringe Abregelungsverluste im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien.

In Summe zeigt sich, dass die Wasserkraft im Landkreis über ein solides technisches Fundament verfügt und durch gezielte Maßnahmen ein realistisches Ausbaupotenzial besitzt. Dieses liegt – konservativ geschätzt – bei rund 15 % Ertragssteigerung bei bestehenden Anlagen, mit weiterem Potenzial durch bauliche Anpassungen und die Reaktivierung von Altstandorten.

**Wasserkraft**

kWh/a

Genutztes Potenzial	16.670.748

Szenario 2040	16.670.748

Alternativszenario	16.670.748

Technisches Potenzial	18.461.474

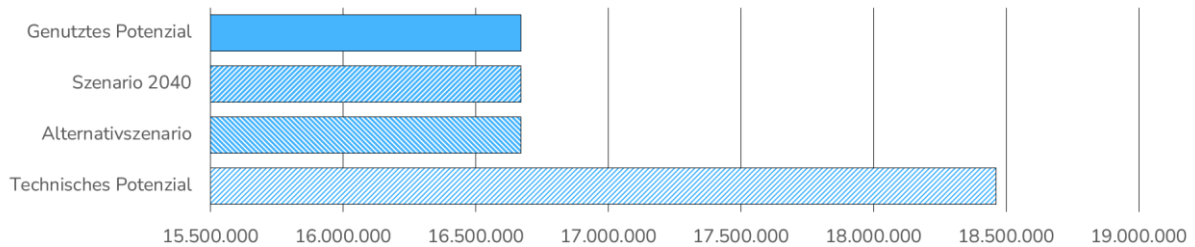


Abbildung 43: Aktuelle Nutzung, angesetztes Szenario 2040 und Alternativszenario von Strom aus Wasserkraft im Vergleich zum technisch verfügbaren Potenzial.

4.4.8 Geothermie

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

Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Geothermienutzung:

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

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

Tiefe Geothermie

In Bad Staffelstein wird seit vielen Jahren Thermalwasser aus ca. 1.000 Metern Tiefe mit Temperaturen von bis zu 52 °C in der Obermain Therme gefördert. Das Wasser wird zur Speisung der Thermenbecken genutzt und nach dem Abkühlungsprozess auf 25 °C heruntergekühlt sowie aufbereitet. Die dabei entstehende Abwärme wird teilweise zur Beheizung der Becken genutzt. Eine weitergehende Nutzung, etwa zur Wärmerversorgung von Gebäuden, ist laut Rücksprache mit der Einrichtung aufgrund der zu geringen Abwärmemenge sowie hoher Salzgehalte des Wassers nicht wirtschaftlich umsetzbar. Für eine hydrothermale Energiegewinnung ist die bestehende Quelle daher nicht geeignet.

Der Landkreis Lichtenfels liegt im Fränkischen Becken, einer Region, in der laut dem Geothermieatlas Bayern erhöhte Wärmeströme im Untergrund auftreten – ein erstes Indiz für geothermisches Potenzial. Das Gebiet gilt in Teilen als hydrothermisch oder petrothermal nutzbar, wobei bisher unklar ist, ob die hydrothermalen Bedingungen tatsächlich ausreichen, um wirtschaftlich Energie zu gewinnen. Eine Nutzung zur Wärmegewinnung ist nur nach tieferer Erschließung und auf Basis belastbarer geologischer Daten sinnvoll bewertbar.

Notwendig sind Bohrungen in größere Tiefen sowie hohe Investitionen, was eine genaue Standortanalyse und gegebenenfalls seismische Voruntersuchungen erfordert.

Ein vielversprechender Ansatz besteht in der weiteren Erkundung sogenannter petrothormaler Potenziale, also der Nutzung von Wärme aus dichten Gesteinen, wie sie durch das Forschungsprojekt „PetroTherm“ der Geothermie-Allianz Bayern untersucht werden. Ziel des Projekts ist es, nutzbare Tiefenreserven in Nordbayern zu identifizieren und technisch erschließbar zu machen. Der Landkreis Lichtenfels liegt im Fokus dieser Untersuchungen, weshalb eine enge Kooperation mit wissenschaftlichen Einrichtungen, insbesondere der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, empfohlen wird. Solche Kooperationen können helfen, Explorationsrisiken zu verringern und mittel- bis langfristig konkrete Nutzungsmöglichkeiten zu entwickeln.

Oberflächennahe Geothermie

Zur Ermittlung der Potenziale oberflächennaher Geothermie wurde auf hydrogeologische Daten des Geologischen Dienstes des Landesamtes für Umwelt zurückgegriffen. In Abbildung 44 wird die Eignung für eine Erdwärmenutzung dargestellt. Es zeigt sich, dass viele Gebiete grundsätzlich für die Nutzung oberflächennaher Geothermie geeignet erscheinen. Im Verschnitt mit der Heatmap erweisen sich Gebiete mit hohem Wärmeverbrauch auch als möglicherweise für Erdwärmenutzung nutzbar. *(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 3 vorgestellte Heatmap in größerem Ausschnitt in Abbildung 44 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 THG-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 Verbrauch an Heizöl und Erdgas zu mindern. Der weitere Ausbau von Wärmepumpensystemen könnte z. B. über Informationskampagnen forciert werden.

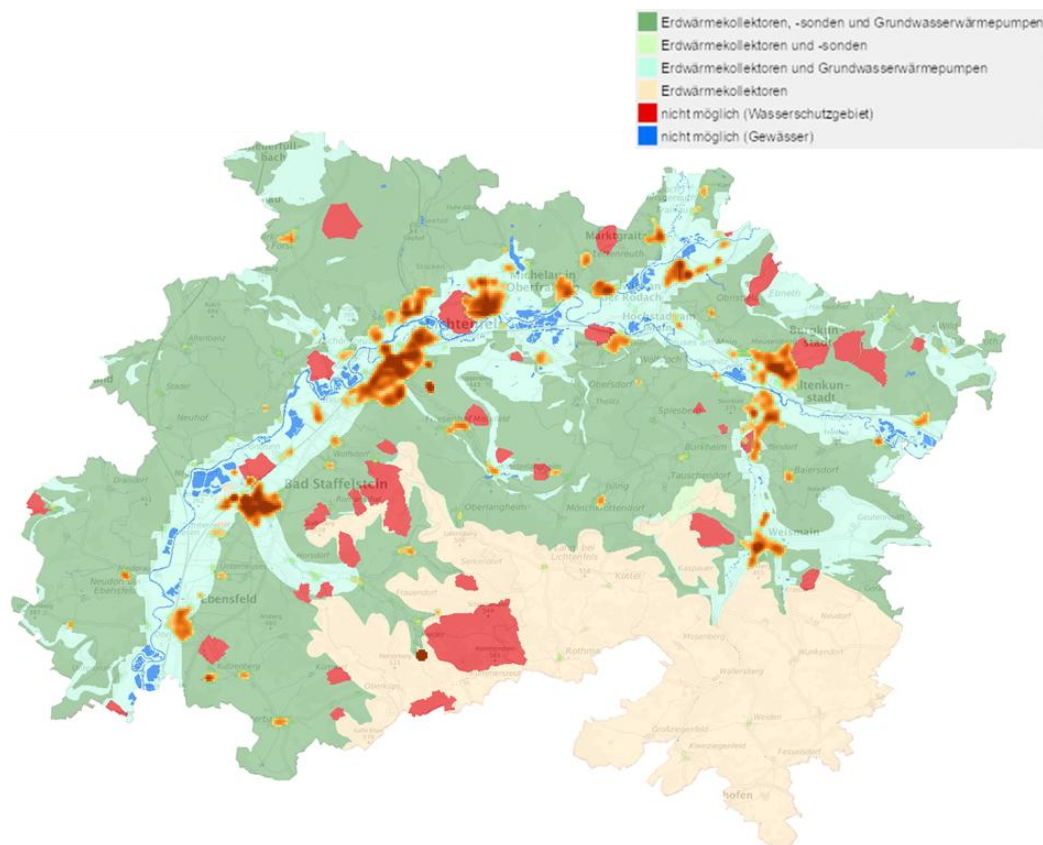


Abbildung 44: Verschneidung der Heatmap des Wärmekatasters mit dem Potenzial oberflächennaher Geothermie [Bayerische Vermessungsverwaltung].

4.4.9 Abwärme

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

In der Praxis stellen vor allem die häufig niedrigen Temperaturniveaus und die jährliche Benutzungsdauer eine Hürde dar. Zudem wird vielerorts in Unternehmen mit entsprechendem Abwärmepotenzial dieses insbesondere in den Wintermonaten bereits zur Wärmeversorgung des Unternehmens selbst eingesetzt. So würden die Potenziale für mögliche weitere, externe Abnehmer zum Großteil lediglich in den warmen Monaten mit ohnehin allgemein wenig Heizwärmebedarf zur Verfügung stehen. Dennoch können eingesetzte Energieträger durch die Nutzung des "Abfallproduktes" Abwärme effizienter genutzt werden und vor allem in sinnvoller Kombination mit weiteren Wärmeerzeugern einen wertvollen Beitrag zum Energiesystem leisten.

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

4.4.10 Kraft-Wärme-Kopplung

Der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als Brückentechnologie stellt einen wichtigen Baustein für die Energiewende dar. KWK-Anlagen wandeln den eingesetzten Brennstoff (meist Erdgas) mit bis zu 90 % in nutzbare Wärme und Strom um. Auf diese Weise tragen sie zu einer ressourcenschonenderen Energieversorgung bei. Mittelfristig soll der Einsatz von Wasserstoff, Biomethan und/oder synthetischer Kraftstoffe zu neuen Einsatzgebieten in der KWK führen. Die Potenziale von Fuelswitch fossiler Energieträger von bestehenden KWK-Anlagen auf Wasserstoff wurde dabei im Kapitel Transformationsprozesse beschrieben. Gerade große KWK-Anlagen mit Leistungen im MW-Bereich können hierbei sehr stark in den Fokus rücken. Der weitere Ausbau könnte z. B. über Informationskampagnen forciert werden (insbesondere in Industriebetrieben mit gleichzeitig hohem Wärme- und Stromverbrauch). Eine Quantifizierung des Potenzials ist im Rahmen des Energienutzungsplans nicht möglich.

Basierend auf der Analyse des gebäudescharfen Wärmekatasters wurden potenzielle Gebiete identifiziert, die aufgrund ihrer hohen Wärmedichte in Kombination mit einem überdurchschnittlichen Strombedarf als wirtschaftlich geeignete Standorte für den Einsatz von KWK-Anlagen einzustufen sind. Diese Gebiete wurden georeferenziert erfasst und können im GIS dargestellt und weiterverwendet werden, wie in folgende Abbildung 45 zeigt.

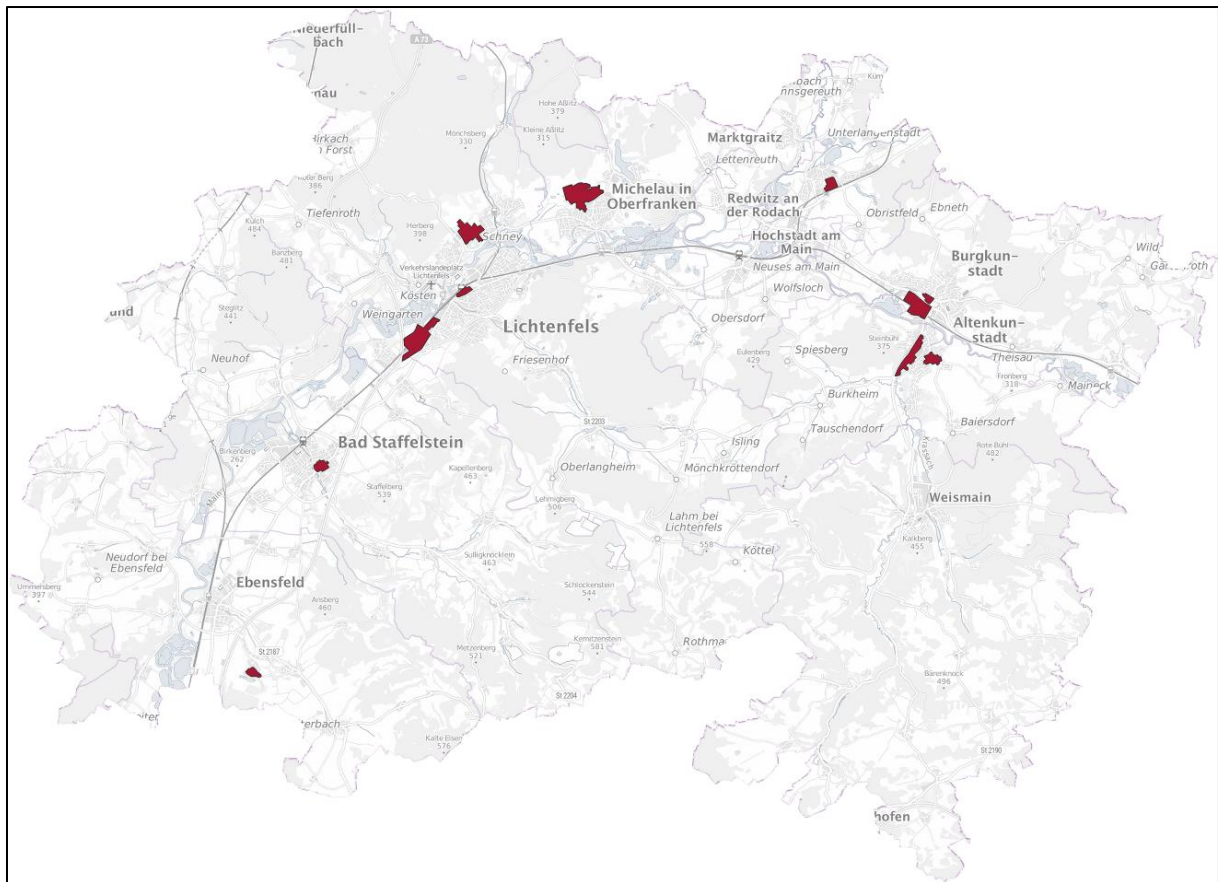


Abbildung 45: Darstellung der Gebiete mit potenziellen Standorten für den Einsatz von KWK-Anlagen.

5 Energieszenario 2040

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. Neben dem Energieszenario für das Jahr 2040 wird noch ein Alternativszenario zur Erreichung einer vollständigen Klimaneutralität entwickelt. Tabelle 7 zeigt die getroffenen Annahmen für beide Szenarien.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Annahmen im Energieszenario 2040 und des Alternativszenarios

	Szenario 2040	Szenario THG-Neutralität
Solarthermie	50 % solarer Deckungsanteil an Warmwasserbedarf (97 % Ausbaupotenzial)	
Aufdach-Photovoltaik	30 % Erschließungsgrad	50 % Erschließungsgrad
Freiflächen-Photovoltaik	1,5% der landwirtschaftlich genutzten Fläche	6,7% der landwirtschaftlich genutzten Fläche
Windkraft	50 % des technischen Potenzials	80 % des technischen Potenzials
Wasserkraft	15 % Ausbaupotenzial	
Biogas	Stromproduktion: Kein Ausbaupotenzial Abwärmenutzung: 183 % Ausbaupotenzial	
holzartige Biomasse	20 % Ausbaupotenzial	
Oberflächennahe Geothermie (Wärmepumpen)	Anteil an Wärmebedarf durch Wärmepumpen Priv. Haushalte und Kommunale Gebäude: 40 % Wirtschaft: 20 %	
Anteil E-Mobilität	50%	80%

5.1 Energieszenario 2040

Abbildung 46 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs vom Bilanzjahr 2021 (linker Balken) bis zum Zieljahr 2040 (rechter Balken). In der Darstellung werden die Veränderungen durch die beschriebenen Einsparpotenziale und Transformationsprozesse deutlich. Es kommt zu einer verstärkten Elektrifizierung der Sektoren, wodurch der künftige Strombezug steigt. Durch die effizientere Nutzung der Endenergie bei einer Elektrifizierung durch Wärmepumpen und Elektromobilität sowie Einsparmaßnahmen wie Gebäudesanierungen ergibt sich ein deutlich niedrigerer Endenergieverbrauch im Jahr 2040.

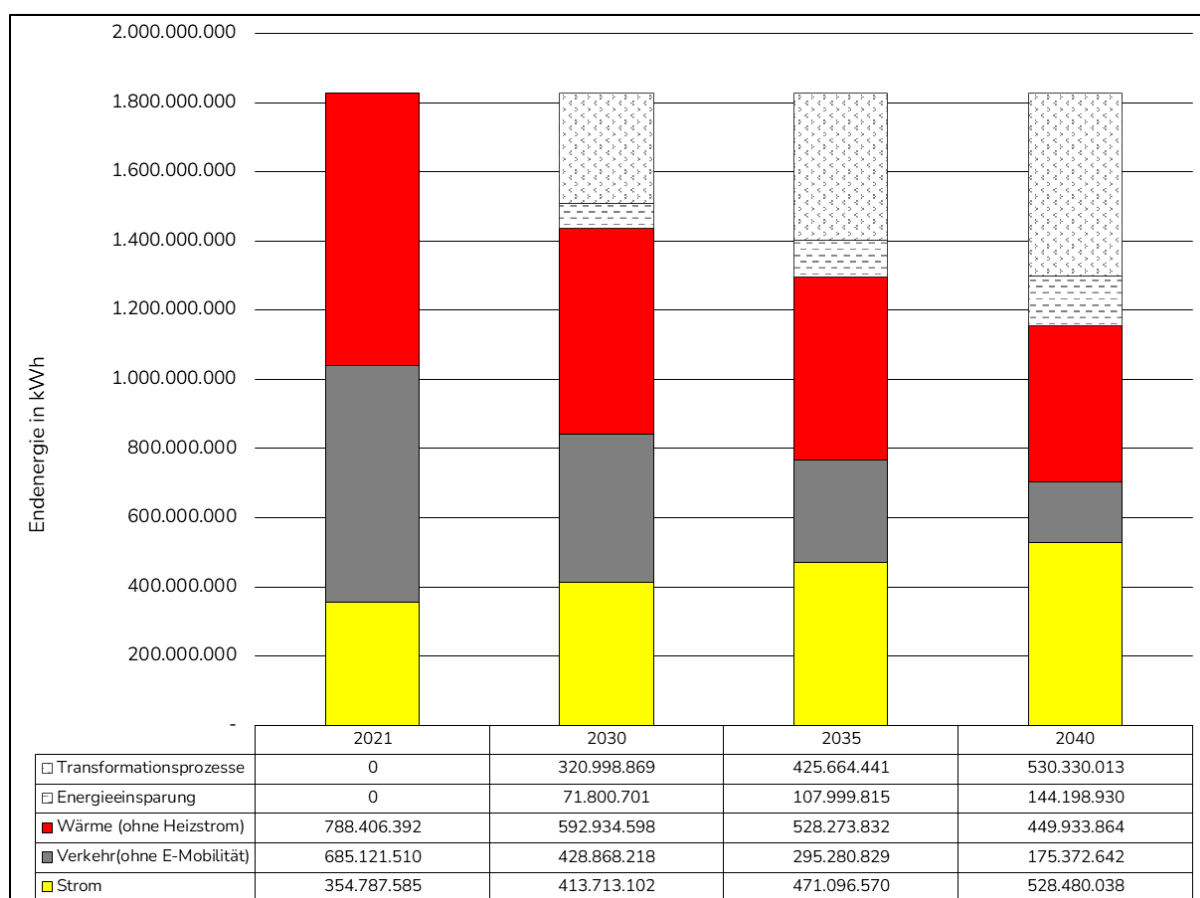


Abbildung 46: Energieszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung

Zum Erreichen einer bilanziellen Eigenversorgung aus regenerativen Energien bis zum Jahr 2040 gilt es, den aufgezeigten Bedarf vollständig durch Erschließung der eigenen Potenziale zu decken. In Abbildung 47 ist, entsprechend der Ausbau der in Kapitel 4.4 ermittelten Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien dargestellt. Es ist ersichtlich, dass, gemäß diesem Entwicklungsszenario, eine Zunahme von rund 325.000 MWh im Ist-Zustand auf

rund 1.224.000 MWh im Jahr 2040 erfolgen würde. Dies ist zum Großteil auf den weiteren Ausbau von PV-Aufdachanlagen, PV-Freiflächenanlagen und der Windkraft zurückzuführen. Zur zukünftigen Deckung des Wärmebedarfs im Landkreis wird angenommen, dass rund 208.000 MWh durch sogenannte „Grüne Gase“ bereitgestellt werden können. Dabei kann es sich um Biomethan und Wasserstoff handeln, das entweder regional produziert wird oder importiert werden muss. Zusätzlich könnte auch der Import holzartiger Biomasse künftig eine mögliche Option zur Wärmeversorgung darstellen.

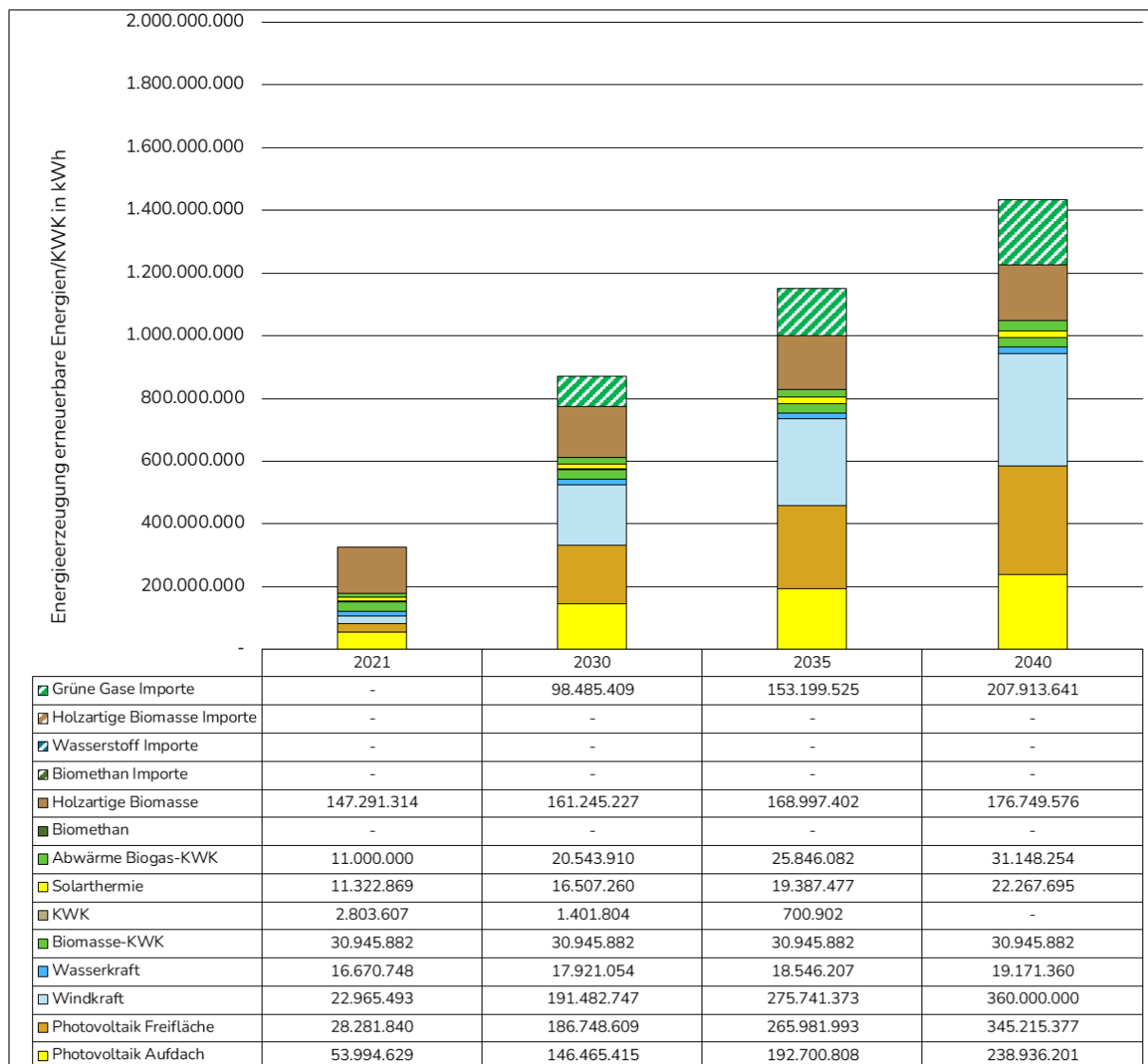


Abbildung 47: Energieerzeugung 2021 - 2040 | Entwicklung der Energieerzeuger

In Abbildung 48 ist im direkten Vergleich zu erkennen, dass die bilanzielle Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien sogar höher wäre als der bilanzielle Endenergieverbrauch im Jahr 2040.

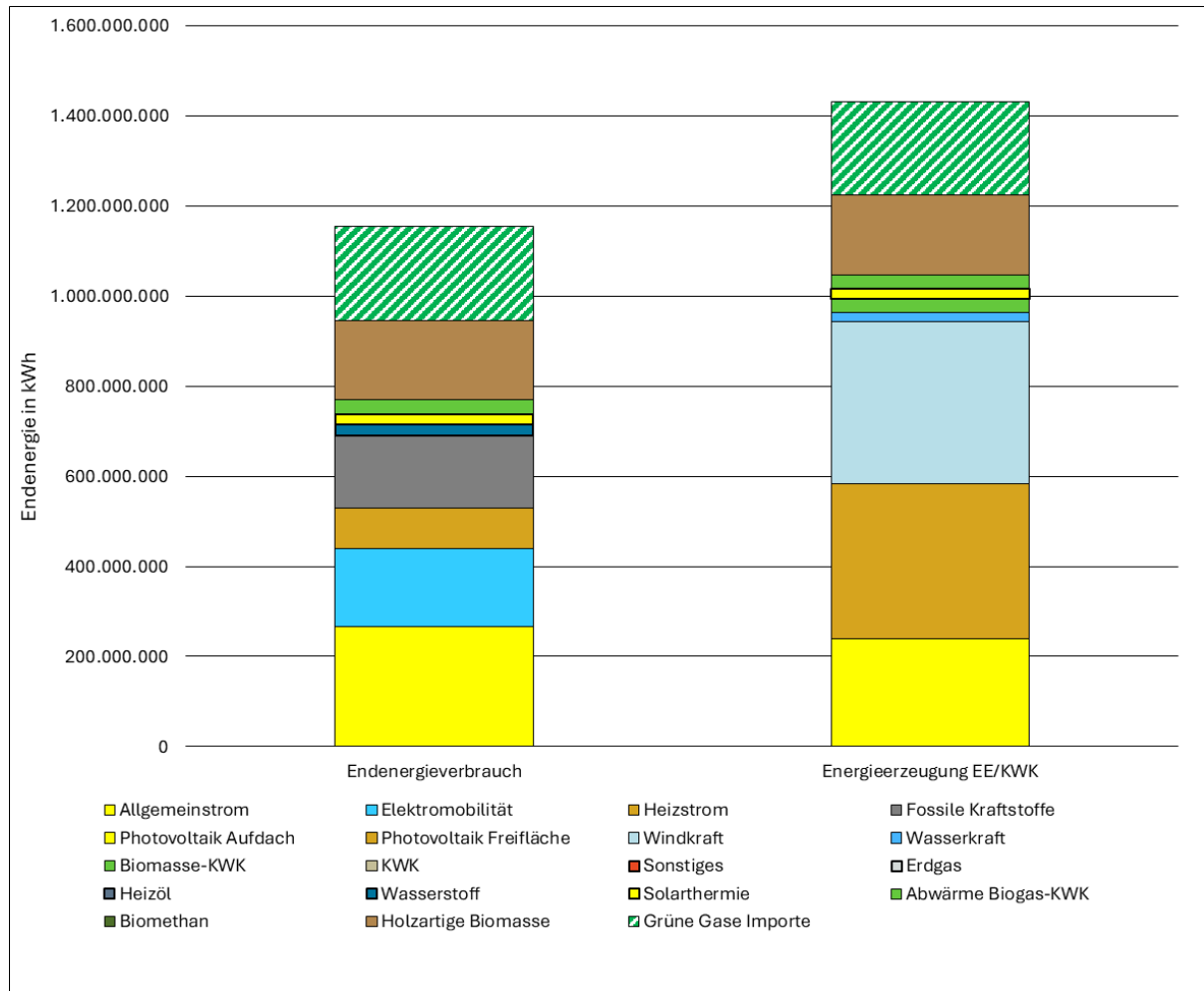


Abbildung 48: Energieszenario - Vergleich des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung 2021 – 2040

Abbildung 49 zeigt die prognostizierte Entwicklung der CO₂-Emissionen im Landkreis bis zum Jahr 2040 auf Grundlage der im Energieszenario 2040 ermittelten Potenziale. Sowohl die absoluten Emissionen als auch die Pro-Kopf-Emissionen nehmen im Betrachtungszeitraum deutlich ab. Die dargestellten Werte basieren auf den angenommenen Ausbaupotenzialen erneuerbarer Energien, insbesondere der Photovoltaik und Windkraft, Effizienzmaßnahmen und Transformationsprozessen und verdeutlichen das erhebliche Minderungspotenzial im Landkreis.

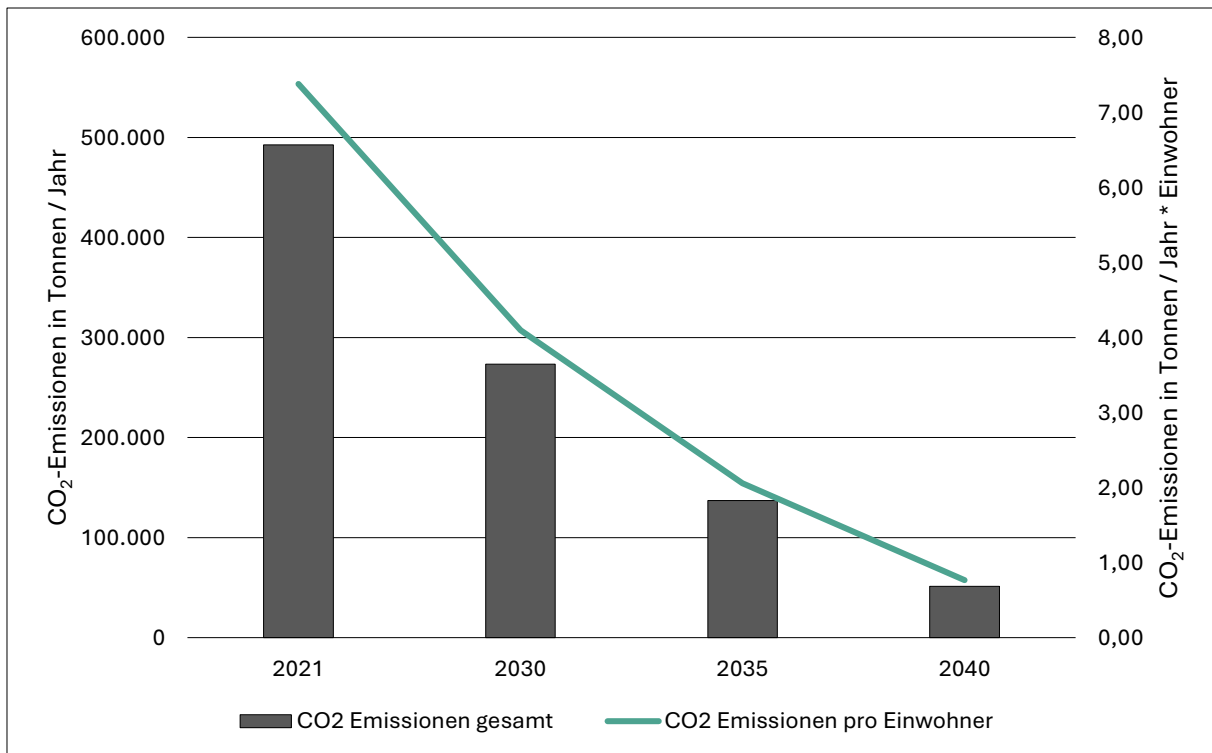


Abbildung 49: Prognostizierte Entwicklung der CO₂-Emissionen im Landkreis (2021–2040)

5.2 Alternativszenario – CO₂-Neutralität

Wie bereits zu Beginn des Kapitels erwähnt, wurde auf Wunsch des Auftraggebers ein Alternativszenario erstellt. Dieses hat das Ziel, eine beispielhafte Konstellation, wie in Tabelle 7 dargestellt, an Annahmen hinsichtlich der Erzeugung aus erneuerbaren Energien zu zeigen, mit Hilfe dessen man eine CO₂-Neutralität erreichen könnte. Die nachfolgende Darstellung zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs auf Basis der Annahmen des Alternativszenarios. Wie bereits in Abbildung 50 ersichtlich, bleibt die Struktur der Visualisierung identisch, jedoch unterscheiden sich die Werte infolge der veränderten Rahmenbedingungen. Auch hier werden die Auswirkungen der Einsparpotenziale und Transformationsprozesse sichtbar, wobei insbesondere die geänderten Annahmen zur Energieerzeugung und -nutzung Einfluss auf den Endenergieverbrauch im Jahr 2040 nehmen.

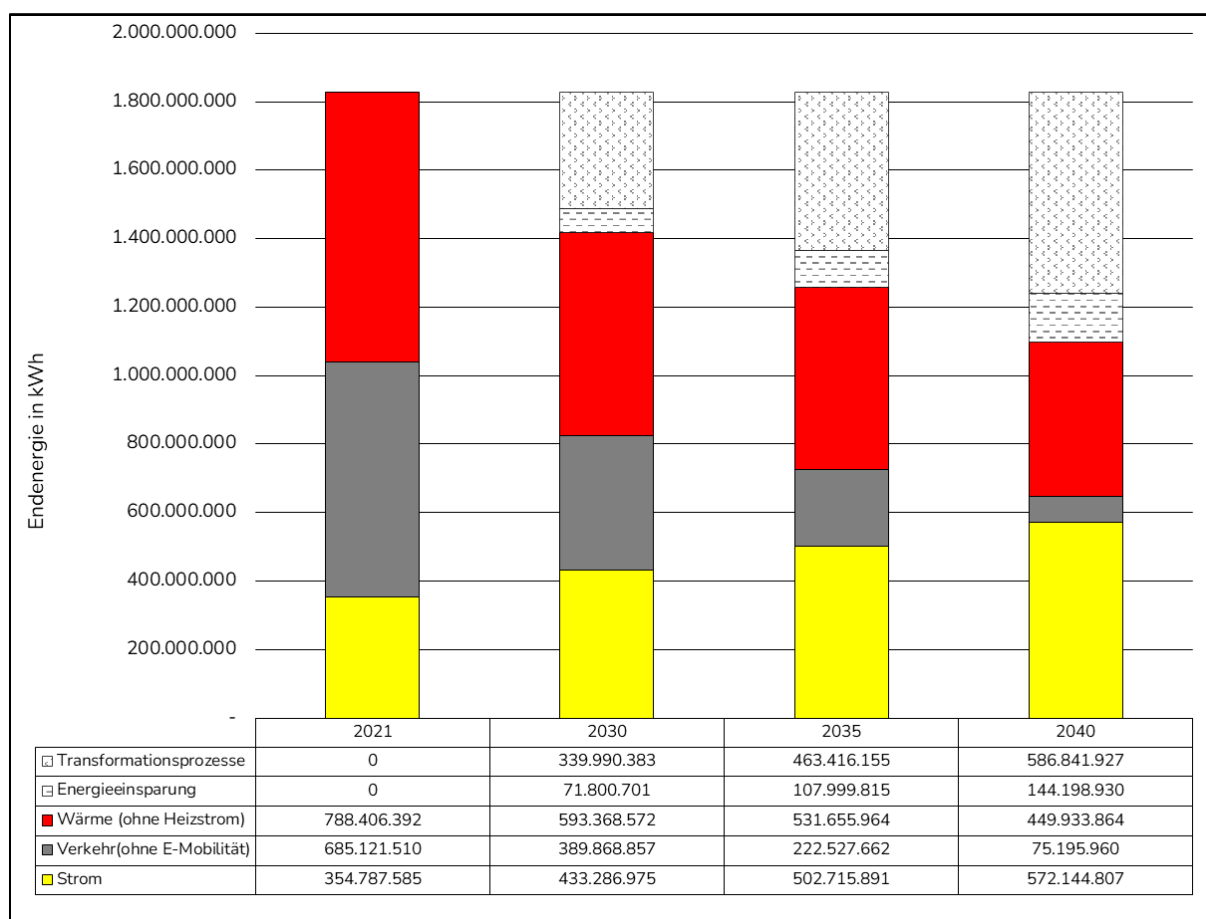


Abbildung 50: Alternativszenario 2021 bis 2040 – Auswirkungen der Energieeinsparung und Transformation durch Elektrifizierung

In der folgenden Abbildung ist dargestellt, in welchem Umfang die erneuerbaren Energiepotenziale im Rahmen des Alternativszenarios ausgeschöpft werden. Im Vergleich zum ersten Szenario zeigen sich deutliche Veränderungen bei einzelnen Ausbaupfaden: Ein höherer Erschließungsgrad wird bei der Photovoltaik auf Dachflächen (ca. 360.000 MWh) und Freiflächen (rund 600.000 MWh) sowie bei der Windkraft (knapp 550.000 MWh) angenommen. Dies würde beispielsweise rund 32 zusätzliche Windenergieanlagen (7,2 MW), ca. 15.000 zusätzlicher PV-Anlagen mit je 20 kWp Leistung auf Dachflächen und knapp 200 zusätzliche PV-Freiflächenanlagen mit je 3 MW erfordern. Auch der Beitrag geothermischer Wärmepumpen und der Anteil an E-Mobilität fallen höher aus. Ergänzend wird von einer intensiveren Nutzung von Abwärme im Bereich Biogas ausgegangen.

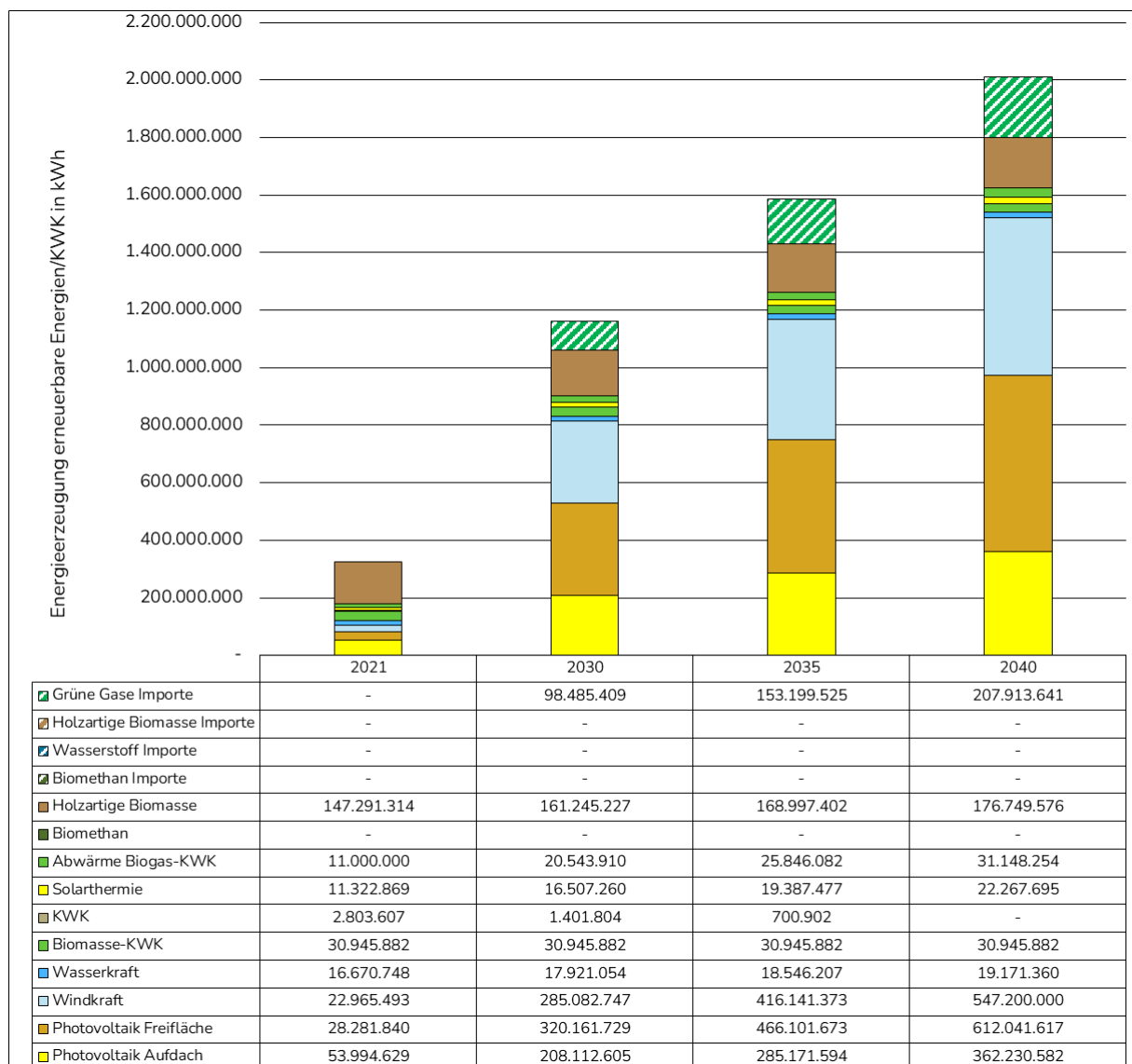


Abbildung 51: Alternativszenario - Energieerzeugung 2021 - 2040 | Entwicklung der Energieerzeuger

Die Gegenüberstellung in Abbildung 52 zeigt, dass im Alternativszenario im Jahr 2040 nahezu doppelt so viel Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugt werden kann, wie im selben Jahr an Endenergie verbraucht wird.

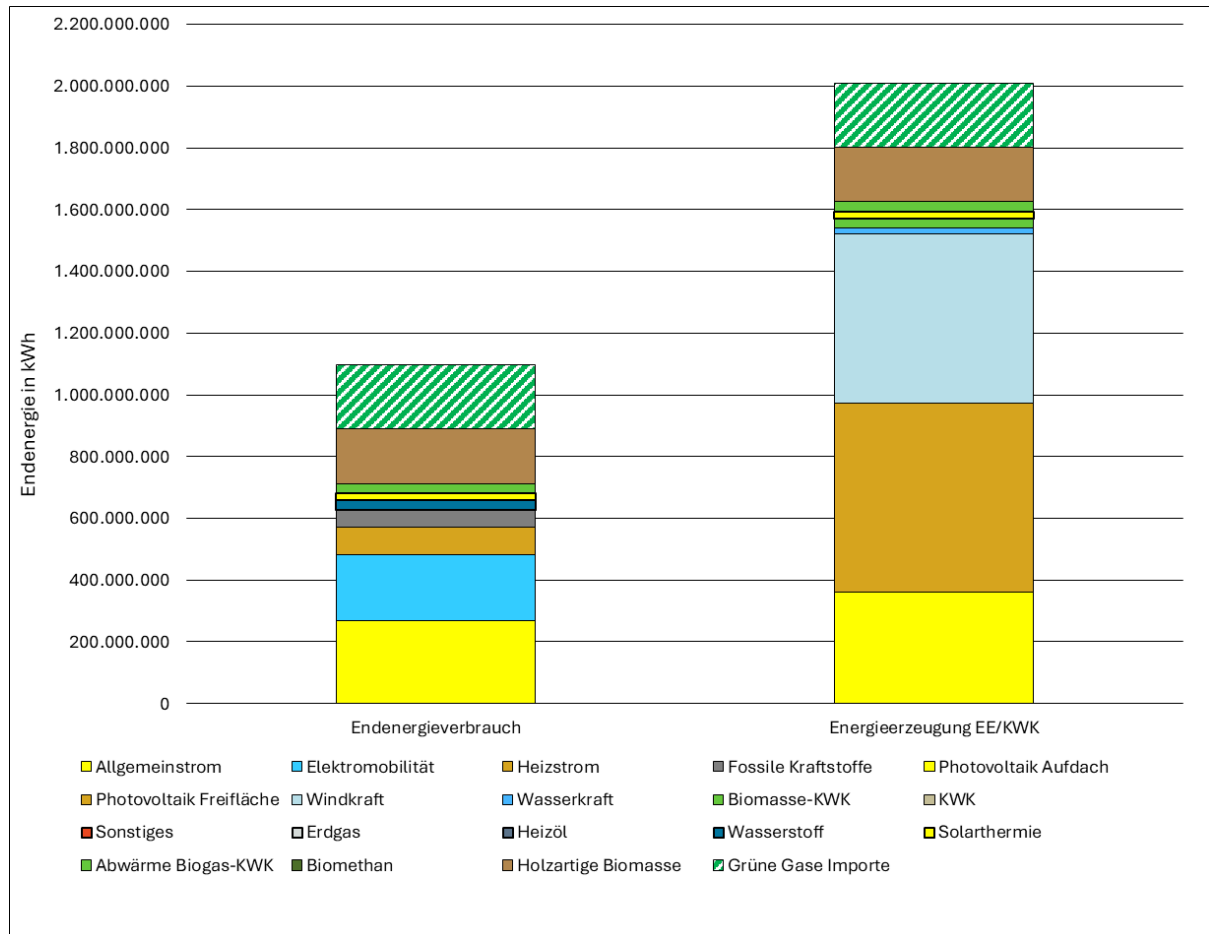


Abbildung 52: Alternativszenario - Vergleich des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung 2041

In der nachfolgenden Abbildung 53 wird deutlich, dass durch die Berücksichtigung der angesetzten Emissionswerte und die gesteigerten Annahmen in den Bereichen der Erzeugung aus erneuerbaren Energien, besonders Windkraft und Freiflächen-Photovoltaik, aber auch der E-Mobilität eine CO₂-Neutralität erreicht werden kann.

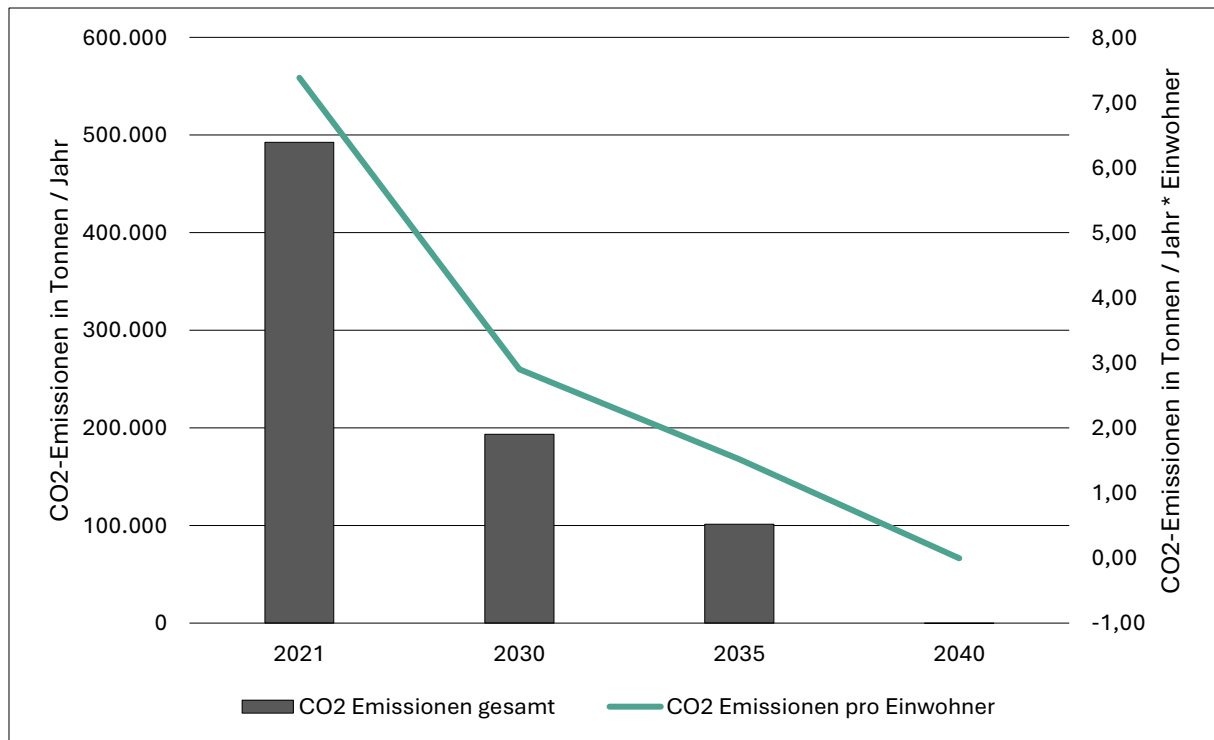


Abbildung 53: Alternativszenario - Prognostizierte Entwicklung der CO₂-Emissionen im Landkreis (2021–2040)

6 Maßnahmenkatalog

Ziel des Energienutzungsplans (ENP) ist die Entwicklung eines praxisnahen und umsetzungsorientierten Maßnahmenkatalogs, der konkrete Handlungsempfehlungen für den Landkreis, die Kommunen sowie das Regionalwerk enthält. Das Regionalwerk Obermain ist ein gemeinsames Kommunalunternehmen des Landkreises und seiner Kommunen, das als zentraler Akteur für den Ausbau erneuerbarer Energien im Landkreis fungiert, Projekte wie Photovoltaik, Windkraft und Nahwärmenetze entwickelt, umsetzt und betreibt, und dabei Bürger, Kommunen und Unternehmen finanziell beteiligt. Die Maßnahmen wurden in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber entwickelt, inhaltlich abgestimmt und hinsichtlich ihrer Relevanz priorisiert. Im Folgenden sind alle landkreisweiten Maßnahmen übersichtlich zusammengefasst und auf den nachfolgenden Seiten im Detail beschrieben. Darüber hinaus wurde für jede Kommune ein eigener kommunenspezifischer Maßnahmenkatalog erstellt, der dem jeweiligen Kommunensteckbrief beigelegt ist

Titel der Maßnahme	Priorität
M1 Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Freiflächen-Photovoltaik	hoch
M2 Strategische Umsetzung und Förderung des Windkraftausbaus im Landkreis	hoch
M3 Zukunft der Biogasanlagen im Landkreis Lichtenfels	hoch
M4 Förderung der Wasserkraft im Landkreis	hoch
M5 Prüfung, Ausbau und Modernisierung der Stromnetzinfrastuktur	hoch
M6 Ausbau und rechtliche Prüfung von Batteriespeichern in der Netzinfrastuktur	hoch
M7 Regelmäßige Aktualisierung und Evaluation der Energiebilanz aus dem Energienutzungsplan	hoch
M8 Vereinfachungen bürokratischer Hürden für erneuerbare Energien	hoch
M9 Förderung der Bürger- und Kommunalbeteiligung an erneuerbaren Energien	hoch
M10 Koordination bei der Erstellung der kommunalen Wärmepläne für die einzelnen Kommunen	hoch
M11 Wasserstoffkonzept für den Landkreis Lichtenfels	hoch

M12 Entwicklung einer Roadmap für den Ausbau Erneuerbarer Energien im Landkreis	hoch
M13 Ausschöpfung noch ungenutzter Dachflächenpotenziale für PV	mittel
M14 Entwicklung kommunaler Wärmenetze und KWK-Lösungen	mittel
M15 Aufbau einer interkommunalen Klärschlammverwertung im Landkreis	mittel
M16 Kommunale Stromnetzübernahme bei auslaufenden Konzessionsverträgen prüfen	mittel
M17 Arbeitskreis Energieholzpotenziale	mittel
M18 Öffentlichkeitsarbeit im Landkreis Lichtenfels	mittel
M19 Energieberatung für Bürger und Unternehmen	mittel
M20 Entwicklung eines kommunalen Förderprogramms für Energieeffizienz	mittel
M21 Angebot für regionale Stromtarife	mittel
M22 Standardisierung und koordinierte Beschaffung von Peripheriegeräten	mittel
M23 Umrüstung der kommunalen Flotte auf Elektromobilität bzw. alternative erneuerbare Antriebe	mittel
M24 Umrüstung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) auf erneuerbare Antriebe	mittel
M25 Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität	mittel
M26 Installation von Fahrrad-Hubs, insbesondere an Verkehrsknotenpunkten	gering
M27 Ausweitung der Carsharing-Angebote	gering
M28 Energieeffizienter Betrieb der Landkreisliegenschaften	gering
M29 Prüfung innovativer Technologien zur Energiegewinnung	gering

M1 Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Freiflächen-Photovoltaik		Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden potenzielle Flächen für Freiflächen-Photovoltaikanlagen anhand eines standardisierten Kriterienkatalogs identifiziert. Um den Ausbau zielgerichtet und effizient voranzutreiben, wäre es sinnvoll, den Kriterienkatalog in Zusammenarbeit mit dem Regionalwerk und den Kommunen zu optimieren, um eine umsetzungsorientierte Strategie für den PV-Ausbau zu entwickeln. Neben der Flächenauswahl sollten auch rechtliche, technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Dazu gehört die Integration der finanziellen Beteiligung der Kommunen nach §6 EEG in den Kriterienkatalog, um eine höhere Akzeptanz und Wertschöpfung vor Ort zu gewährleisten. Ergänzend könnte geprüft werden, wie Freiflächen-PV in die regionale Stromversorgung eingebunden und mit Speichersystemen kombiniert werden kann, um eine stabile Netzintegration zu erreichen. Umsetzung 1. Anpassung der kommunalen Kriterienkataloge in Zusammenarbeit mit Regionalwerk und Kommunen 2. Erstellung einer Ausbau-Strategie unter Berücksichtigung der bestehenden Netzinfrastruktur 3. Abstimmung mit Energieversorgern und Netzbetreibern 4. Erarbeitung regionaler Beteiligungsmodelle		
Zeitraum:	sofort	
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk	
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, Netzbetreiber, Investoren	
Kosten:	je nach Umfang der Maßnahmen	

M2 Strategische Umsetzung und Förderung des Windkraftausbaus im Landkreis	Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Der regionale Planungsverband Oberfranken-West hat bereits Vorranggebiete für Windkraftanlagen ausgewiesen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde zudem eine Ertragsanalyse für diese Flächen durchgeführt, um deren technisches Potenzial zu ermitteln. Daraus lässt sich ableiten, dass die Windkraft zukünftig ausschlaggebend für eine erfolgreiche Energiewende im Landkreis sein wird. Um den Ausbau der Windkraft gezielt voranzutreiben, wäre es sinnvoll, eine umsetzungsorientierte Strategie zu entwickeln, die sowohl rechtliche und technische als auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen berücksichtigt. Ein zentraler Aspekt ist die Beteiligung von Kommunen und Bürgern, um Akzeptanz und regionale Wertschöpfung zu stärken. Das Regionalwerk, das künftig zahlreiche Projekte im Bereich erneuerbarer Energien realisieren möchte, sollte als zentraler Akteur auftreten und kommunale Windparks, Bürgerwindparks, Genossenschaftsmodelle oder direkte Beteiligungen von Kommunen koordinieren. Dadurch könnten Wertschöpfung und Investitionen verstärkt in der Region gehalten werden. Zusätzlich ließe sich prüfen, wie Windkraftanlagen in die regionale Stromversorgung integriert und mit Speicherlösungen oder Sektorenkopplung kombiniert werden können, um eine stabile Netzintegration sicherzustellen. Umsetzung 1. Konkretisierung der lokalen Rahmenbedingungen für die Umsetzung von Windkraftprojekten in Abstimmung mit der Kommune und dem Regionalwerk 2. Entwicklung einer Ausbau-Strategie 3. Abstimmung mit Energieversorgern und Netzbetreibern 4. Erarbeitung von Beteiligungsmodellen	
Zeitraum:	sofort
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, Netzbetreiber, Investoren
Kosten:	je nach Umfang der Maßnahmen

M3 Zukunft der Biogasanlagen im Landkreis Lichtenfels

Priorität: hoch

Beschreibung und Ziel

Im Landkreis Lichtenfels gibt es derzeit insgesamt 11 Biogasanlagen, die einen zuverlässigen Beitrag zur regionalen Energieversorgung leisten. In den kommenden Jahren läuft für viele dieser Anlagen die gesicherte EEG-Vergütung aus, was deren wirtschaftlichen Betrieb gefährden könnte.

Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde daher ein Fachforum mit Biogasanlagenbetreibern durchgeführt. Die dort gesammelten Erkenntnisse verdeutlichen, dass es dringend ein umfassendes und zukunftsorientiertes Konzept zur weiteren Nutzung der Biogasanlagen braucht.

Es wird empfohlen, einen Biogasarbeitskreis für den Landkreis Lichtenfels einzurichten. Hierfür sollen in enger Abstimmung mit allen relevanten Akteuren (z. B. Betreiber der Biogasanlagen, Regionalwerk Obermain, Netzbetreiber, Fachbehörden) die potenziellen Nutzungsmöglichkeiten aufgezeigt und eine zukunftsichere Einbindung der Biogasanlagen in das Energiesystem 2040 des Landkreises (auch nach EEG-Förderzeitraum) gewährleistet werden. Zudem sollen Möglichkeiten eruiert werden, wie bürokratische Hürden abgebaut bzw. vereinfacht werden können. Entscheidend wird die Einbindung der Anlagenbetreiber in die auszuarbeitenden kommunalen Wärmepläne sein.

Umsetzung

1. Koordination und Abstimmung der Akteure: Effektive Abstimmung und Koordination aller relevanten Akteure, einschließlich Landkreis, Biogasanlagenbetreiber, Strom-, Gas- und Wärmenetzbetreiber sowie Bürgermeister/innen, um eine integrale Wärmeplanung zu gewährleisten.
2. Entwicklung und Bewertung von Szenarien im Zuge der Wärmeplanung: Entwicklung und ergebnisoffene wirtschaftliche und technische Prüfung von Verwertungsszenarien mit Fokus auf Strom- und Wärmeerzeugung sowie Biogas- oder Biomethannutzung, um die Machbarkeit und Nachhaltigkeit der verschiedenen Optionen zu bewerten.
3. Beschleunigung der kommunalen Wärmewende: Beitrag zur systemischen Umsetzung der kommunalen Wärmepläne durch die Integration neuer Lösungsansätze und die Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte.

Zeitraum:	Ausarbeitung im Zuge der Kommunalen Wärmeplanung
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen
Betroffene Akteure:	Betreiber Biogasanlagen, Kommunen, Netzbetreiber
Kosten:	je nach zusätzlichem Umfang, ansonsten keine im Zuge der Wärmeplanung

M4 Förderung der Wasserkraft im Landkreis	Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Wasserkraft ist eine zuverlässige erneuerbare Energiequelle im Landkreis, steht jedoch vor Herausforderungen wie langwierigen Genehmigungsverfahren, widersprüchlichen naturschutzfachlichen Vorgaben und fehlender Unterstützung für technische Modernisierungen. Das Wasserkraft-Fachforum im Rahmen des Energienutzungsplans zeigte, dass vor allem vereinfachte Genehmigungsverfahren, gezielte Förderungen und verbesserte Vermarktungsstrategien nötig sind. Um den Ausbau zu erleichtern, sollten Anlagenbetreiber stärker bei Genehmigungsprozessen unterstützt werden und finanzielle Hilfen für Planungsverfahren bereitgestellt werden. Ein Direktvermarktungskonzept in Kooperation mit dem Regionalwerk könnte zudem stabile Einnahmen sichern und die regionale Wertschöpfung steigern. Als Austauschformat könnte ein Arbeitskreis Wasserkraft etabliert werden. Die Maßnahme basiert auf den Erkenntnissen des Fachforums und zielt darauf ab, wirtschaftliche und ökologische Rahmenbedingungen langfristig zu verbessern. Umsetzung 1. Vereinfachung der Genehmigungsverfahren: Einrichtung einer zentralen Anlaufstelle und regelmäßiger Austausch zwischen Betreibern und Behörden zur Beschleunigung der Verfahren (z.B. innerhalb Arbeitskreis Wasserkraft) 2. Technische Modernisierung fördern: Unterstützung bei Förderanträgen, Beratung zu Effizienzsteigerungsmaßnahmen 3. Finanzielle Unterstützung für Planungsverfahren Bereitstellung gezielter Fördermittel zur Reduzierung finanzieller Risiken für Betreiber in der frühen Planungsphase. 4. Optimierung der Direktvermarktung Entwicklung eines Vermarktungskonzepts mit stabilen Preisen in Zusammenarbeit mit dem Regionalwerk 5. Regelmäßige Evaluation und Weiterentwicklung Jährliche Überprüfung der Maßnahmen und Anpassung an neue Rahmenbedingungen	
Zeitraum:	sofort
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Landratsamt, Regionalwerk, Anlagenbetreiber
Betroffene Akteure:	Landratsamt, Regionalwerk, Anlagenbetreiber
Kosten:	je nach Umfang der Fördermaßnahmen

M5 Prüfung, Ausbau und Modernisierung der Stromnetzinfrastuktur		Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Der zunehmende Ausbau erneuerbarer Energien, die verstärkte Sektorkopplung sowie der steigende Energiebedarf durch Elektromobilität und Wärmepumpen führen zu erheblichen Belastungen in der Stromnetzinfrastuktur. Besonders im Mittelspannungsnetz können durch hohe Einspeisemengen aus erneuerbaren Energien Netzengpässe entstehen, während im Niederspannungsnetz steigende Verbrauchslasten durch dezentrale Erzeugung und neue Verbraucher zusätzliche Herausforderungen mit sich bringen. Um Abregelungen von Energieerzeugungsanlagen und Einschränkungen in der Energieversorgung zu vermeiden, sind gezielte Prüfungen, Erweiterungen und Modernisierungen erforderlich. Es ist essenziell, den Netzausbau eng mit dem Ausbau erneuerbarer Energien sowie der Entwicklung der Verbrauchsstrukturen abzustimmen, sodass die Netzinfrastuktur mit den wachsenden Anforderungen Schritt hält. Durch eine kontinuierliche Umsetzung dieser Maßnahmen kann die Netzstabilität verbessert, Engpässe vermieden und eine nachhaltige Energieversorgung gewährleistet werden. Umsetzung 1. Analyse der Netzkapazitäten 2. Identifikation von Engpässen 3. Ableitung und Priorisierung von Maßnahmen 4. Umsetzung priorisierter Maßnahmen 5. Monitoring der Netzentwicklung		
Zeitraum:	stetig	
Verantwortliche Akteure:	Netzbetreiber	
Betroffene Akteure:	Netzbetreiber	
Kosten:	Hochinvestiv. Im Rahmen des Konzepts nicht zu beziffern.	

M6 Ausbau und rechtliche Prüfung von Batteriespeichern in der Netzinfrastruktur

Priorität: hoch

Beschreibung und Ziel

Der Ausbau von Batteriespeichern in der Netzinfrastruktur ist ein zentraler Baustein für die Integration erneuerbarer Energien, die Netzstabilität und die Reduzierung von Netzengpässen. Batteriespeicher ermöglichen die Zwischenspeicherung überschüssiger Energie aus Solar- und Windkraftanlagen, um sie zu späteren Zeitpunkten nutzbar zu machen. Dadurch können Lastspitzen abgefangen werden, Netzschwankungen ausgeglichen und die Versorgungssicherheit erhöht werden.

Da Netzbetreiber gemäß den gesetzlichen Unbundling-Vorgaben nicht direkt selbst Speicher betreiben dürfen, muss geprüft werden, unter welchen rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen Dritte in den Betrieb eingebunden werden können. Dies umfasst insbesondere den Zugang zu Netzsituationen sowie die Klärung von Datenschutzfragen.

Der Fokus der Maßnahme liegt auf der kooperativen Planung und Umsetzung. In enger Abstimmung mit Netzbetreibern, Regionalwerk, Kommunen und weiteren Akteuren sollen geeignete Standorte identifiziert sowie rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen für den netzdienlichen Betrieb geprüft werden. Pilotprojekte können dazu beitragen, die praktische Umsetzung zu erproben und Erfahrungen für eine Skalierung auf weitere Speicherstandorte zu gewinnen.

Umsetzung

1. Dialog mit relevanten Akteuren:

Frühzeitige Abstimmung mit Netzbetreibern, Regionalwerk, Kommunen und potenziellen Betreibern, um Planungen transparent zu gestalten und Hemmnisse frühzeitig zu klären.

2. Identifikation geeigneter Standorte:

Untersuchung der Flächen in räumlicher Nähe zu den Umspannwerken

3. Rechtliche und technische Prüfung:

Bewertung der Unbundling-Vorgaben, Datenschutzanforderungen und technischer Lösungen zur Bereitstellung erforderlicher Netzdaten.

4. Flächensicherung und Genehmigungen:

Auswahl und rechtliche Sicherung geeigneter Standorte sowie Einreichung von Genehmigungsanträgen.

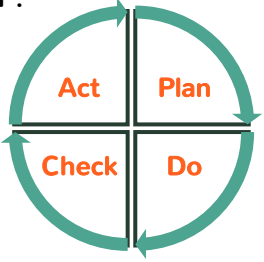
5. Pilotprojekt und Testbetrieb:

Umsetzung eines Modellprojekts zur Erprobung des netzdienlichen Betriebs und Erfassung von Erfahrungswerten.

6. Evaluierung und Skalierung:

Analyse der Pilotprojekt-Ergebnisse und Weiterentwicklung des Konzepts zur breiteren Anwendung im Landkreis.

Zeitraum:	fortlaufend parallel zum Ausbau erneuerbarer Energien
Verantwortliche Akteure:	Netzbetreiber, Regionalwerk, Kommune, Speicherbetreiber, Projektierer
Betroffene Akteure:	Netzbetreiber, Regionalwerk, Kommune, Speicherbetreiber, Projektierer
Kosten:	individuell, je nach Größe des Batteriespeichers

M7 Regelmäßige Aktualisierung und Evaluation der Energiebilanz aus dem Energienutzungsplan	Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Die im Rahmen des Energienutzungsplans erstellte Energiebilanz sowie der zugehörige Maßnahmenkatalog sollten in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden, um Fortschritte bei der Energieeinsparung und dem Ausbau erneuerbarer Energien systematisch bewerten zu können. Die Fortschreibung der Energie- und Treibhausgasbilanz sollte dabei nach der bundesweit etablierten BSKO-Methodik durch den Landkreis erfolgen. Für eine umfassende Aktualisierung im Rahmen eines Folge-Energienutzungsplans wird ein Analysezyklus von drei bis fünf Jahren empfohlen. Umsetzung - Nutzung der im Energienutzungsplan erhobenen Daten - Einführung einer kontinuierlichen Bilanzierung nach BSKO-Methodik - Festlegung eines regelmäßigen Aktualisierungszyklus - Prüfung der Fördermöglichkeiten - Anwendung des PDCA-Zyklus zur strukturierten Umsetzung des ENP: - Plan: Maßnahmen beschließen - Do: Maßnahmen ausführen - Check: Evaluierung mittels aktualisiertem Energienutzungsplan - Act: Angepasste Maßnahmen weiterführen 	
Zeitraum:	Periodische Aktualisierung alle drei - fünf Jahre
Verantwortliche Akteure:	Landkreis mit seinen Kommunen
Betroffene Akteure:	Landkreis / Kommunen
Kosten:	Kosten für die Energie- und Treibhausgasbilanzierung mittels Klimaschutzplaner: 2.200€ Kosten für die Erstellung eines Folge-Energienutzungsplans: ca. 30.000 - 50.000 Euro, abzgl. möglicher Förderungen

M8 Vereinfachungen bürokratischer Hürden für erneuerbare Energien		Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Im Rahmen der Fach- und Bürgerforen zum Energienutzungsplan wurde deutlich, dass bürokratische Hürden und komplizierte behördliche Verfahren ein zentrales Hemmnis für den Ausbau erneuerbarer Energien darstellen. Sowohl Anlagenbetreiber (z. B. im Bereich Biogas und Wasserkraft) als auch Bürgerinnen und Bürger berichteten von komplizierten Genehmigungsprozessen, langen Wartezeiten und fehlender Transparenz bei Verwaltungsabläufen. Ziel dieser Maßnahme ist es, die Genehmigungs- und Verwaltungsprozesse zu vereinfachen, zu beschleunigen und transparenter zu gestalten. Durch eine bessere Abstimmung zwischen Behörden, eine optimierte digitale Antragstellung und gezielte Beratungsangebote für Antragsteller könnten Hindernisse abgebaut und die Umsetzung erneuerbarer Energieprojekte erleichtert werden. Umsetzung 1. Analyse bestehender Genehmigungsverfahren für EE-Anlagen und Identifikation zentraler bürokratischer Hemmnisse 2. Einrichtung einer zentralen Anlaufstelle, die Betroffene bei Antragsverfahren unterstützt und Informationen gebündelt bereitstellt. 3. Digitale Optimierung von Genehmigungsverfahren 4. Verstärkte behördliche Beratungen und Schulungen für Antragsteller und Verwaltungsmitarbeiter 5. Engere Abstimmung zwischen Kommunen und zuständigen Behörden, um bürokratische Prozesse zu verkürzen und Doppelstrukturen zu vermeiden 6. Regelmäßige Evaluation der Verfahren		
Zeitraum:	sofort	
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Landratsamt, Kommunen, relevante Behörden	
Betroffene Akteure:	Landkreis, Landratsamt, Kommunen, relevante Behörden, Anlagenbetreiber, Bürgerinnen und Bürger	
Kosten:	geringinvestiv	

M9 Förderung der Bürger- und Kommunalbeteiligung an erneuerbaren Energien	Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Die aktive Beteiligung von Bürgern und Kommunen an erneuerbaren Energieprojekten ist ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche Energiewende. Bürgerbeteiligungsmodelle wie direkte Beteiligungen an PV-Freiflächenanlagen oder Windparks, gemeinschaftlich betriebene Windkraftprojekte oder Bürgerenergiegenossenschaften könnten es den Einwohnern ermöglichen, finanziell von der Energiewende zu profitieren und gleichzeitig die Akzeptanz neuer Anlagen zu erhöhen. Auch Kommunen könnten eine zentrale Rolle übernehmen, insbesondere durch die finanzielle Teilhabe nach §6 EEG. Diese Regelung ermöglicht es Kommunen, bei Wind- und Solarprojekten in ihrer Umgebung finanziell zu profitieren. Um diese Möglichkeit effektiv zu nutzen, können Kommunen die finanzielle Beteiligung an PV-Freiflächenanlagen als verbindliches Kriterium in ihre Kriterienkataloge für Projektgenehmigungen aufnehmen. Dies könnte dazu beitragen, dass Kommunen langfristig von erneuerbaren Energieprojekten profitieren und sich aktiv an der Energiewende beteiligen. Siehe ergänzend Maßnahme M1 zur Integration in kommunale Kriterienkataloge. Umsetzung 1. Schaffung und Förderung von Beteiligungsmodellen 2. Aufnahme der finanziellen Beteiligung für Kommunen in den kommunalen Kriterienkatalogen für PV-Freiflächen 3. Identifikation geeigneter kommunaler Flächen für PV- und Windkraftprojekte 4. Integration von Beteiligungsregelungen in kommunale Maßnahmenpläne und Förderstrategien 5. Durchführung von Informationskampagnen zur Förderung von Bürger- und Kommunalbeteiligungen 6. Unterstützung bei der Gründung von Bürgerenergiegenossenschaften und weiteren Beteiligungsstrukturen	
Zeitraum:	sofort
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, Bürger, Energieversorgungsunternehmen
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, Bürger, Energieversorgungsunternehmen
Kosten:	je nach Umfang der Maßnahmen

M10 Koordination bei der Erstellung der kommunalen Wärmepläne für die einzelnen Kommunen	Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Die kommunale Wärmeplanung (kWP) ist ein Planungsinstrument zur Realisierung klimaneutraler Wärmeversorgung auf kommunaler Ebene. Der Wärmeplan soll Bürgerinnen und Bürgern auf Basis einer neutralen und ergebnisoffenen Analyse eine Orientierung bei der Auswahl der künftigen Heizungstechnologie geben. Hierbei geht es insbesondere um die langfristige Umstellung dezentraler fossiler Heizsysteme auf eine umwelt- und klimafreundliche Wärmeversorgung. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde ein gebäudescharfes Wärmekataster für alle Kommunen im Landkreis ausgearbeitet. Dieses kann als Basis der per Wärmeplanungsgesetz verpflichtenden Erarbeitung eines Wärmeplans durch die einzelnen Kommunen herangezogen werden. Um die Erstellung der Wärmepläne für die Kommunen im Landkreis Lichtenfels zu vereinfachen, wird eine Koordination auf Landkreisebene empfohlen. Hierbei könnte z.B. eine zentrale Datenbereitstellung oder die Koordination der Abstimmungsgespräche mit den relevanten Fachexperten durch den Landkreis erfolgen. Umsetzung - Abfrage durch den Landkreis Lichtenfels bei den Kommunen, wer bereits eine gesetzeskonforme Wärmeplanung erstellt hat, bzw. gerade erstellen lässt. - Vorbereitung einer zentralen Datenübermittlung aus dem Energienutzungsplan - Ausarbeitung einer Übersicht aller relevanten Akteure, die im Rahmen der Wärmepläne gehört werden müssen (z.B. Ansprechpartner bei AELF, Netzbetreiber) - Regelmäßige Abstimmung mit den Kommunen, z.B. im Rahmen von Bürgermeisterdienstbesprechungen	
Zeitraum:	bis Juni 2028 müssen per Wärmeplanungsgesetz alle Kommunen in Deutschland eine Wärmeplanung ausgearbeitet haben
Verantwortliche Akteure:	Landkreis
Betroffene Akteure:	Kommunen
Kosten:	Personalkosten im LRA für koordinierende Tätigkeiten

M11 Wasserstoffkonzept für den Landkreis Lichtenfels

Priorität: hoch

Beschreibung und Ziel

Im Zuge des Ausbaus Erneuerbarer Energien, vor allem Windkraft und PV, werden zukünftig mehr Energiespeicher und Bindeglieder zur intelligenten Kombination der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität benötigt. Zum einen lassen sich in Form von Wasserstoff oder synthetisch aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid hergestellten Methan überschüssige Strommengen aus der volatilen Stromerzeugung speichern und zum anderen können durch den Einsatz dieser Energieträger erhebliche Mengen an Treibhausgasen einspart und somit die Sektoren Mobilität und Wärme zum Teil dekarbonisiert werden.

Weiterhin nehmen mit steigendem Anteil an Erneuerbaren Energie im Strommix die Zeiten mit überschüssigen, nicht nutzbaren Strommengen im Stromnetz zu. Um die Versorgungssicherheit weiterhin gewährleisten zu können, müssen Netzbetreiber EE-Anlagen zu diesen Zeiten vom Netz nehmen. Die Nutzung der in diesem Fall abgeregelten, überschüssigen Strommengen zur Produktion von synthetischen Gasen wie Wasserstoff, kann zukünftig die Abregelungsmaßnahmen reduzieren und damit auch die Wirtschaftlichkeit von neuen EE-Anlagen zukünftig absichern.

Die Maßnahme zielt darauf ab, ein landkreisumfassendes und (über-)regionales Wasserstoffkonzept zu erstellen. Hierzu werden die regionalen Netzbetreiber, das Regionalwerk, der Landkreis, die Kommunen aber auch mögliche, im Zuge des ENPs identifizierte Wasserstoffabnehmer aus der Industrie und dem Gewerbe in Abstimmungen einbezogen. Weiterhin werden die im ENP bereits identifizierten Standorte konkretisiert und daraufhin ein detailliertes Wasserstoffkonzept erstellt, welches die gesamte Wertschöpfungskette mit der Bereitstellung der elektrischen Energie, Produktion, Transport und Nutzung von Wasserstoff abdeckt.

Umsetzung

1. Besprechung der Ergebnisse des ENP und Aufzeigen möglicher Wasserstoff-Nutzungsmöglichkeiten und Erzeugungs-Standorte mit kommunalen Vertretern und Vertretern des Landkreises und Festlegung, ob eine interkommunale Wasserstoffroadmap umsetzbar und gewünscht ist. Vernetzung mit weiteren Akteuren in der Region, welche bereits im Bereich Wasserstoff aktiv sind (z.B. Landkreis Haßberge und Wunsiedel sowie die nördliche Oberpfalz)
2. Besprechung der Ergebnisse des ENP mit Gasnetzbetreibern bzgl. Einspeisung und Transformationsplänen und relevanten Industriebetrieben und Verzahnung mit kommunalen Wärmeplanungen
3. Einholung von weiteren Daten, wie thermische Lastgänge und Produktionsdetails von möglichen Wasserstoffabnehmern in der Industrie und dem Gewerbe und möglichen Wasserstoffumstellungsplänen sowie weiteren Daten von deren Fahrzeugflotten sowie den kommunalen Fahrzeugflotten und ÖPNV-Flotten

4. Finale Standortfestlegung auf Basis der GIS-basierten Potenzialanalyse des ENP und Detailbetrachtung möglicher Wasserstofferzeugungsanlagen und -Tankstellen auch an bestehenden Umspannwerken und in sog. H₂-Clustern, z. B. im Raum Bad Staffelstein (Erzeugung und Wasserstoffnutzung unmittelbar vor Ort)
5. Entwicklung eines Strombezugskonzepts für grünen Strom gemäß der EU- und nationalen Regulatorik. Die Entwicklung eines Konzepts muss in enger Abstimmung mit EE-Anlagenbetreibern, Regionalwerk, Energieversorgern sowie den möglichen, zukünftigen Betreibern der Wasserstofferzeugungsanlage erfolgen
6. Entwicklung und Bewertung von Erzeugungs- und Verwertungsszenarien: Entwicklung und ergebnisoffene und detaillierte wirtschaftliche und technische Prüfung, um die Machbarkeit einer möglichen Wasserstoffinfrastruktur (Erzeugung, Verteilung und Nutzung) im Landkreis und die Nachhaltigkeit der verschiedenen Ansätze zu bewerten.
7. Finale Ausarbeitung einer Wasserstoffroadmap für den Landkreis Lichtenfels, um die Schritte bis zu einer möglichen Umsetzung festzuhalten.

Zeitraum:	Ausarbeitung der Wasserstoffroadmap im Jahr 2026
Verantwortliche Akteure:	Landkreis und Regionalwerk als Initiator des Wasserstoffkonzepts
Betroffene Akteure:	Kommunen, Landkreis, Regionalwerk, EE-Anlagenbetreiber, Strom- und Gasnetzbetreiber, Stadtwerke, Industrie und Gewerbe, Flottenbetreiber
Kosten:	ca. 80.000 Euro (Fördermöglichkeit als Teil-ENP über Freistaat Bayern, Interkommunales Netzwerkprojekt)

M12 Entwicklung einer Roadmap für den Ausbau Erneuerbarer Energien im Landkreis	Priorität: hoch
Beschreibung und Ziel Um den Ausbau der erneuerbaren Energien im Landkreis Lichtenfels strategisch zu steuern und Synergien zwischen verschiedenen Akteuren zu nutzen, soll eine umfassende Roadmap erarbeitet werden. Ziel ist die Entwicklung eines abgestimmten Ausbaupfads für Photovoltaik, Windkraft, Biomasse und weitere EE-Quellen unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und netztechnischer Rahmenbedingungen. Die Roadmap soll als zentrales Planungs- und Kommunikationsinstrument dienen und die Grundlage für koordinierte Investitionen und Beteiligungsprozesse schaffen. Umsetzung 1. Erstellung einer integrierten Ausbau-Strategie für erneuerbare Energien im Landkreis auf Basis der im ENP ermittelten Potenziale. 2. Berücksichtigung der bestehenden Netzstruktur, Engpassanalysen und vorausschauende Netzentwicklung in Abstimmung mit Netzbetreibern. 3. Abstimmung mit Energieversorgern, Netzbetreibern und Regionalwerk zur Planung von Projekten und zur Sicherstellung der Netzintegration. 4. Entwicklung regionaler Beteiligungsmodelle. 5. Zeitliche Priorisierung und Etappierung des EE-Ausbaus bis zu einem definierten Zieljahr, orientiert an politischen Zielen und dem innerhalb des ENP erarbeiteten Zielszenarios.	
Zeitraum:	Kurz- bis mittelfristig (Beginn zeitnah)
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Regionalwerk, Energieversorger, Netzbetreiber
Betroffene Akteure:	Landkreis, Regionalwerk, Energieversorger, Netzbetreiber
Kosten:	Je nach Umfang und Tiefe der Analysen

M13 Ausschöpfung noch ungenutzter Dachflächenpotenziale für PV		Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden große ungenutzte Potenziale für Photovoltaikanlagen auf Dachflächen identifiziert – sowohl auf kommunalen Gebäuden (z. B. Feuerwehrhäuser, Bauhöfe, Schulen) als auch im privaten Bereich. Um diese Potenziale auszuschöpfen, wird empfohlen, eine kombinierte Strategie aus konkreten Umsetzungsprojekten und gezielter Öffentlichkeitsarbeit zu verfolgen. Dazu gehört die Identifikation und Prüfung kommunaler Dachflächen hinsichtlich technischer Realisierbarkeit (Statik, Zustand der Dachfläche), mit anschließender Projektierung und potenzieller Umsetzung durch das Regionalwerk Obermain. Für den privaten Bereich soll durch Informationskampagnen und Veranstaltungen (z. B. Flyer, Onlineformate, Solar-Check, kommunale Infoabende) gezielt zur Nutzung von Dachflächen für PV angeregt werden. Ziel ist es, mit klarer Kommunikation, lokalen Vorbildern und konkreten Umsetzungsangeboten (z. B. Sammelbestellungen oder Erstberatungen) die Bevölkerung und Kommunen gleichermaßen zu motivieren, einen Beitrag zur regionalen Energiewende durch verstärkte Dachflächennutzung zu leisten. Umsetzung 1. Prüfung kommunaler Dachflächen 2. Abstimmung mit dem Regionalwerk 3. Aktivierung privater Dachflächen 4. Einsatz von Tools wie dem Solarkataster 5. Beratungsangebote stärken		
Zeitraum:	sofort	
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk	
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, Bürger	
Kosten:	je nach Umfang der Maßnahmen	

M14 Entwicklung kommunaler Wärmenetze und KWK-Lösungen	Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Im Rahmen des Energienutzungsplans und des gebäudescharfen Wärmekatasters wurden für jede Kommune im Landkreis Lichtenfels konkrete Gebiete mit erhöhter Wärmedichte identifiziert. Diese wurden georeferenziert erfasst, im GIS-System dargestellt und sind Bestandteil der kommunenspezifischen Maßnahmenblätter. In Kombination mit einem überdurchschnittlichen Strombedarf gelten diese Gebiete als potenziell wirtschaftlich tragfähig für die Umsetzung von Wärmenetzen und insbesondere für den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)-Anlagen. Ziel der Maßnahme ist es, auf Basis dieser Daten konkrete Wärmeverbundlösungen zu entwickeln, in denen kommunale Liegenschaften als zentrale Wärmeabnehmer oder Netzanschlusspunkte fungieren. Die Kombination mit benachbarten Wohn- oder Gewerbenutzungen bietet weitere Synergien und kann die Wirtschaftlichkeit zusätzlich verbessern. Die Umsetzung solcher Lösungen leistet einen direkten Beitrag zur kommunalen Wärmewende und kann perspektivisch auch in die kommunale Wärmeplanung integriert werden. Umsetzung 1. Analyse der im ENP und Wärmekataster dokumentierten Wärmedichtegebiete je Kommune 2. Auswahl geeigneter kommunaler Liegenschaften sowie potenzieller zusätzlicher Abnehmer in der Umgebung 3. Erstellung kommunalspezifischer Machbarkeitsstudien zur Prüfung von Nahwärme- oder KWK-Konzepten 4. Bewertung technischer, wirtschaftlicher und genehmigungsrechtlicher Rahmenbedingungen 5. Projektierung und Umsetzung kommunaler Wärmenetze bzw. KWK-Anlagen in priorisierten Gebieten	
Zeitraum:	mittel- bis langfristig (teilweise innerhalb der Ausarbeitung der kommunalen Wärmeplanung)
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, potenzielle Wärmeabnehmer, Planungsbüros
Kosten:	Projektabhängig; erste Potenzialanalyse und Eignungsprüfungen im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung finanziell abgedeckt

M15 Aufbau einer interkommunalen Klärschlammverwertung im Landkreis		Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde ein detailliertes Klärschlammkonzept für den Landkreis Lichtenfels erarbeitet. Dabei wurde deutlich, dass sich die Kommunen auf einen gemeinsamen Verwertungsweg einigen sollten, um langfristig Planungssicherheit, Kostenstabilität und ökologische Effekte zu sichern. Wirtschaftlich empfehlenswert ist entweder die Nutzung der geplanten Klärschlamm Trocknung am MHKW Coburg mit anschließender Monoverbrennung im GKS Schweinfurt oder alternativ der Aufbau einer dezentralen Klärschlamm Trocknung im Landkreis, z. B. an einer Biogasanlage mit ausreichend verfügbarer Abwärme. Zukunftsorientiert sollte zudem die Entwicklung alternativer Verwertungsverfahren wie die Klärschlamm Pyrolyse beobachtet werden. Diese könnte bei einer künftigen Düngemittelzulassung von Biokohle neue Nutzungsperspektiven eröffnen. Damit verbunden wäre die Chance, Phosphor zurückzugewinnen und CO₂-Emissionen weiter zu senken. Empfehlung: Die Kommunen sollten sich aktiv an einer interkommunalen Koordinierung beteiligen, um eine abgestimmte und zukunftsfähige Klärschlammverwertung zu realisieren. Damit können sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile ausgeschöpft werden.		
Zeitraum:	sofort	
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk	
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk	
Kosten:	je nach Umfang der Maßnahmen	

M16 Kommunale Stromnetzübernahme bei auslaufenden Konzessionsverträgen prüfen	Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Im Zuge der Energiewende und der fortschreitenden Dezentralisierung der Energieversorgung gewinnen regionale Strukturen zunehmend an Bedeutung. Eine kommunale Stromnetzübernahme bei auslaufenden Konzessionsverträgen könnte dazu beitragen, die lokale Steuerungskompetenz zu stärken, wirtschaftliche Potenziale zu heben und die Versorgungssicherheit vor Ort langfristig abzusichern. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass Kommunen im Landkreis frühzeitig prüfen, ob eine Übernahme des Stromnetzbetriebs infrage kommt. Insbesondere durch die Zusammenarbeit mit dem Regionalwerk Obermain, das als kommunal getragenes Unternehmen künftig als Netzbetreiber auftreten könnte, eröffnet sich hier eine strategisch bedeutsame Chance. Das Regionalwerk könnte bei Interesse der Kommune als Partner für den Netzbetrieb agieren und dafür technische, personelle und organisatorische Strukturen bereitstellen. Umsetzung - Identifikation der Kommunen mit auslaufenden Stromkonzessionsverträgen - Erste Wirtschaftlichkeits- und Potenzialanalyse für eine Netzübernahme - Gespräche mit dem Regionalwerk Obermain als möglichem Netzbetreiber - Beteiligung der kommunalen Gremien zur Bewertung und Entscheidungsfindung - Entwicklung eines konkreten Umsetzungsfahrplans für interessierte Kommunen	
Zeitraum:	abhängig von Konzessionslaufzeiten
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, Netzbetreiber
Kosten:	je nach Umfang und Tiefe der Potenzialanalyse (externe Beratung, Personalkosten)

M17 Arbeitskreis Energieholzpotenziale		Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Ein zentraler Baustein auf dem Weg zur Klimaneutralität ist der Wärmesektor. Die Ergebnisse der Ist-Analyse im Energienutzungsplan zeigen, dass rund 45 % des gesamten Endenergiebedarfs (Wärme, Strom, Mobilität) im Jahr 2021 dem Wärmesektor zuzuordnen sind. Zum Erreichen der Klimaneutralität im Wärmesektor wird es einer Vielzahl an Ansätzen erfordern. Die Transformationsstrategien für die Wärmeversorgung müssen daher alle wesentlichen Technologien berücksichtigen, um auf Basis der lokalen Gegebenheiten und Netztopologien die besten Lösungen zu finden. Ein wichtiger Energieträger für die regenerative Wärmeversorgung ist hierbei das Energieholz in Form von z.B. Hackschnitzeln, Pellets und Scheitholz. Im Rahmen des Energienutzungsplans hat daher eine Abstimmung mit wichtigen relevanten Akteuren hinsichtlich realistischer Ausbaupotenziale der Energieholznutzung im Landkreis Lichtenfels stattgefunden. Die Fachexperten sehen noch Möglichkeiten zur verstärkten Energieholznutzung, die jedoch insbesondere in der mittel- bis langfristigen Perspektive mit Vorsicht zu betrachten sind. In den kommenden Jahren ist in den Staatsforsten des Landkreises Lichtenfels aufgrund geplanter Durchforstungsmaßnahmen mit einer steigenden Menge an Energieholz zu rechnen. Aufgrund von Kalamitäten in den Wäldern ist in den nächsten Jahren weiterhin mit einem hohen Potenzial an Energieholz zu rechnen, wobei das tatsächliche Aufkommen stark von den Wetterbedingungen und möglichen Extremwetterereignissen abhängt. Energieversorgungslösungen auf Basis von Energieholz werden jedoch auf einen Zeithorizont von mindestens 20-30 Jahre dimensioniert. Ob die derzeit vorhandenen Potenziale in 20 Jahren noch zur Verfügung stehen, ist hierbei unklar. Dies ist bei der Planung von weiteren Wärmeversorgungsstrategien auf Basis von Energieholz unbedingt zu berücksichtigen. Umsetzung Es wird empfohlen, einen „Arbeitskreis Energieholzpotenziale“ z.B. einmal jährlich zu initiieren, bei dem eine realistische Einschätzung der regionalen Energieholznutzung im Landkreis diskutiert wird. Die Ergebnisse sollten transparent den kommunalen Entscheidungsträgern, Planungsunternehmen und Bürgern kommuniziert werden. Die Koordination und Initiierung sollten durch den Landkreis erfolgen.		
Zeitraum:	ab Jahr 2025 jährlich	
Verantwortliche Akteure:	Landkreis als Initiator; Regionale Fachexperten der Holzbranche und Regionalwerk als Teilnehmer	
Betroffene Akteure:	Kommunale Entscheidungsträger, Regionalwerk, Bürger	
Kosten:	geringinvestiv	

M18 Öffentlichkeitsarbeit im Landkreis Lichtenfels

Priorität: mittel

Beschreibung und Ziel

Im Rahmen der Energiewende und der Digitalisierung der Energieversorgung spielt die Aufklärung der Bevölkerung eine zentrale Rolle. Neben den rein technischen Aspekten wird ebenso eine breite Akzeptanz und ein entsprechendes Verständnis in der Bevölkerung benötigt. Durch gezielte Informationskampagnen soll der Nutzen und die Funktionsweise diverser energietechnischer Systeme und Regulatoriken aufgezeigt und erklärt werden und damit zu einer aktiven Teilnahme der Bevölkerung angeregt werden. Die Akzeptanzsteigerung und der Wissenstransfer ist dabei über verschiedene Kanäle und Formate möglich. Es wird empfohlen, Beratungsangebote im Landkreis Lichtenfels regelmäßig und gezielt über Printmedien, Homepage und soziale Medien zu bewerben und auf regelmäßigen Infoveranstaltungen mit Hinweisen zu laufenden Förderprogrammen öffentlichkeitswirksam zu präsentieren. Hierbei soll das bekannte Format "Lichtenfelser Sonnentage" weiterentwickelt werden z.B. wie bereits mehrmals umgesetzt mit dem Format Energiewende -Vor-Ort.

Beispielhafte Inhalte von Informationsveranstaltungen:

- Heimspeicher
- Smart Metering
- dynamische Stromtarife
- Energieeffizienz im Haushalt
- Elektromobilität
- Batteriespeicher / Elektrolyseur / Netzausbau
- EE-Anlagen (Windkraft / PV-(Dach- / Balkon-) Anlagen

Umsetzung

1. Auswahl geeigneter Inhalte
2. Erstellung von Informationsmaterial
3. Kooperation mit lokalen Akteuren forcieren
4. Durchführung der Veranstaltungen bzw. der Kampagnen
5. Nutzung digitaler Kanäle und Social Media
6. Erfolgsmessung und ggf. Wiederholung bei positivem Ergebnis

Zeitraum:	Laufend (z.B. 2x jährlich)
Verantwortliche Akteure:	Landkreis als Initiator mit Unterstützung durch externe Fachbüros, Netzbetreiber, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Bürger, Unternehmen
Kosten:	geringinvestiv

M19 Energieberatung für Bürger und Unternehmen	Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel / Umsetzung Der Landkreis Lichtenfels bietet seinen Bürgern die Möglichkeit zur Inanspruchnahme einer Energieberatung in Zusammenarbeit mit der Verbraucherzentrale an (https://www.lkr-lif.de/energiesparen). Die bestehende Kooperation sollte weiter fortgeführt und aktiv beworben werden. In der Energieberatung können gezielt Informationen in Bezug auf Sanierung und Optimierungsmaßnahmen an Gebäuden sowie Heizungsinfrastruktur in Verbindung mit einer Fördermittelberatung an die Hand gegeben werden. Auch das bestehende Solarkataster im Landkreis sollte Bestandteil der Beratungen sein und die Möglichkeiten hinsichtlich Stromnutzung aus eigenen PV-Anlagen aufzeigen. Neben Privatpersonen sollten verstärkt weitere Zielgruppen angesprochen werden, insbesondere Unternehmen, Wohneigentümergeellschaften, Vereine und kommunale Liegenschaften. Dabei kann insbesondere im Bereich kommunaler Gebäude das Energiemanagement eine zentrale Rolle einnehmen. Perspektivisch wird empfohlen, die Energieberatung im Landkreis durch die Einrichtung einer eigenen, unabhängigen Beratungsstelle mit einem festen Ansprechpartner zu erweitern, um die Sichtbarkeit, Reichweite und Wirksamkeit des Angebots weiter zu steigern.	
Zeitraum:	Sofort
Verantwortliche Akteure:	Energieberater / Landratsamt
Betroffene Akteure:	Bürgerinnen und Bürger
Kosten:	Aktuell: - Energie-Checks kosten 40 € Eigenanteil - Landkreis übernimmt den Eigenanteil der ersten 150 Checks pro Jahr (Gesamtkosten: 6.000 €) In Planung: Kosten für Energieberatung für Vereine Perspektivisch: Kosten für Anstellung von Energieberater (1 Vollzeitäquivalent)

M20 Entwicklung eines kommunalen Förderprogramms für Energieeffizienz		Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen könnte ein kommunales Förderprogramm entwickelt werden, das gezielt Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden und Betrieben unterstützt. Förderfähig wären unter anderem energetische Sanierungen, effiziente Heizsysteme sowie der Einsatz erneuerbarer Energien. Zusätzlich könnten netzdienliche Technologien, wie intelligente Messsysteme oder Vehicle-to-Grid-Ladepunkte, gefördert werden, sofern sie zur Verbrauchsoptimierung und Effizienzsteigerung beitragen. Eine Kombination mit bestehenden Förderprogrammen des Bundes und des Freistaats Bayern wäre zu prüfen, um Synergien optimal zu nutzen. Umsetzung 1. Identifikation und Auswahl förderfähiger Maßnahmen 2. Ausarbeitung der Förderkriterien und Abstimmung mit bestehenden Programmen 3. Bereitstellung von Haushaltsmittel zur Ermöglichung der Förderung 4. Bestellung personeller Ressourcen zur Bearbeitung des Verwaltungsaktes 5. Kommunikation und Beratung für Bürger und Unternehmen		
Zeitraum:	flexibel	
Verantwortliche Akteure:	Kommune und Landkreis	
Betroffene Akteure:	Bürger, Netzbetreiber, Messstellenbetreiber	
Kosten:	je nach Umfang	

M21 Angebot für regionale Stromtarife	Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Der Anstoß für diese Maßnahme entstand aus den Bürgerforen, in denen der Wunsch nach einer stärkeren Nutzung regional erzeugten Stroms und einer höheren regionalen Wertschöpfung deutlich wurde. Durch regionale Stromtarife könnte die direkte Nutzung erneuerbarer Energien vor Ort gefördert und die regionale Wertschöpfung gestärkt werden. Flexstromtarife würden Verbrauchern ermöglichen, von günstigen Preisen bei hoher Einspeisung aus Solar- und Windenergie zu profitieren. Grüntarife garantieren zudem, dass der Strom aus regionalen, erneuerbaren Quellen stammt. Gleichzeitig könnte eine Optimierung des Bilanzkreismanagements erfolgen, indem der erzeugte Strom direkt von lokalen Betreibern abgenommen wird. Dies würde Energieverluste reduzieren und eine effizientere Nutzung der regionalen Erzeugung ermöglichen. Umsetzung 1. Abstimmung mit Energieversorgungsunternehmen und Regionalwerk über Machbarkeit und Interesse an der Umsetzung regionaler Stromtarife und direkter Stromabnahme. 2. Projektierung und Bau von EE-Anlagen und Speichern bzw. Schließen von Verträgen zur Stromabnahme bereits bestehender Anlagen. 3. Schaffung eines Angebots an regionalen Stromtarifen.	
Zeitraum:	sofort
Verantwortliche Akteure:	Energieversorgungsunternehmen, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Energieversorgungsunternehmen, Regionalwerk, Gewerbe, Industrie, Bürger
Kosten:	geringinvestiv

M22 Standardisierung und koordinierte Beschaffung von Peripheriegeräten	Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Der Ausbau von Peripheriegeräten wie Smart Metern, Ladesäulen und Batteriespeichern ist essenziell für ein zukunftsfähiges Energiesystem. In den Bürgerforen wurde deutlich, dass insbesondere die Uneinheitlichkeit bei Ladesäulenanbietern zu Herausforderungen führt, da unterschiedliche Systeme die Nutzerfreundlichkeit und den effizienten Betrieb erschweren. Diese Problematik zeigt sich auch bei weiteren Peripheriegeräten, weshalb eine einheitliche technische Grundlage erforderlich ist. Eine zu große Vielfalt an Gerätetypen kann zu Kompatibilitätsproblemen, erhöhtem Verwaltungsaufwand und Mehrkosten führen. Durch eine Standardisierung in Zusammenarbeit mit Netzbetreibern, Stadtwerken und dem Regionalwerk könnten diese Herausforderungen reduziert werden. Neben der technischen Vereinheitlichung könnte auch die koordinierte Beschaffung standardisierter Hardware über Sammelbestellungen erfolgen. Dies würde nicht nur günstigere Preise durch Skaleneffekte ermöglichen, sondern auch die praktische Umsetzung erleichtern und personelle Ressourcen im Beschaffungsprozess einsparen. Durch die Kombination aus Standardisierung und gemeinsamer Beschaffung könnten Effizienzsteigerungen im Betrieb, reduzierte Installationskosten und eine schnellere Marktdurchdringung erreicht werden. Umsetzung 1. Einigung auf Standardisierungsrichtlinien 2. Auswahl, welche Peripherie standardisiert werden soll 3. genaue Auswahl des Standardgeräts 4. Organisierte Sammelbestellungen 5. Koordination mit relevanten Akteuren 6. Integration der Standardisierung in zukünftige Infrastrukturprojekte	
Zeitraum:	kurz-mittelfristig
Verantwortliche Akteure:	Netzbetreiber, Stadtwerke, Regionalwerke
Betroffene Akteure:	Netzbetreiber, Stadtwerke, Regionalwerke
Kosten:	je nach Umfang

M23 Umrüstung der kommunalen Flotte auf Elektromobilität bzw. alternative erneuerbare Antriebe	Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Die Umrüstung der kommunalen Fahrzeugflotte auf alternative, erneuerbare Antriebe stellt einen wichtigen Schritt in Richtung einer nachhaltigen Zukunft dar. Indem die Kommune auf Elektrofahrzeuge, Wasserstoffantriebe oder Biokraftstoffe setzt, reduziert sie nicht nur ihre CO₂-Emissionen und Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, sondern schafft auch ein sichtbares Vorbild für Bürgerinnen und Bürger. Eine klimafreundliche Fahrzeugflotte symbolisiert das Engagement der Kommune für die Energiewende und unterstreicht die Bedeutung einer nachhaltigen Mobilität für die Lebensqualität und den Umweltschutz in der Region. So wird die lokale Verwaltung zu einem Vorreiter für den Wandel hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft. Die Clean-Vehicle-Directive (CVD) der EU gibt zudem vor, dass bei Ausschreibungen oberhalb des EU-Schwellenwertes von öffentlichen Auftraggebern wie beispielsweise Kommunen, Städten oder Landkreisen Mindestquoten an emissionsarmen und "sauberen" Fahrzeugen nach Definition der CVD erfüllt werden müssen. Über einen gemeinsamen Beschluss kann die Ausschreibung dann interkommunal oder landkreisweit angegangen werden. Das Regionalwerk Obermain kann hier als interkommunales Unternehmen ebenfalls adressiert werden, um die Umrüstung der kommunalen Fuhrparks zu bearbeiten. Umsetzung 1. Bestandsaufnahme des aktuellen Fuhrparks. Auflistung aller Fahrzeuge nach Klasse, Kraftstoffart, Fahrleistung und Alter. 2. Priorisierung der Umrüstung der Fahrzeuge, beispielsweise nach CO₂-Emissionen oder Alter. 3. Beschluss auf Landkreis- oder interkommunaler Ebene zur Ausschreibung und ggf. Beauftragung des Regionalwerks 4. (Landkreisweite oder interkommunale Sammel-)Ausschreibung für ausgewählte Fahrzeuge des kommunalen Fuhrparks, ggf. über das Regionalwerk 5. Sukzessive Umrüstung des gesamten kommunalen Fuhrparks.	
Zeitraum:	sofort
Verantwortliche Akteure:	Kommunen, Landkreis, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen
Kosten:	individuell, je nach Fuhrpark (Grober Richtwert: 30.000 - 40.000 € E-PKW Mittelklasse)

M24 Umrüstung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) auf erneuerbare Antriebe	Priorität: mittel
Beschreibung und Ziel Die Umrüstung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) auf alternative, erneuerbare Antriebe ist ein zentraler Schritt hin zu einer klimaneutralen Mobilität. Ein nachhaltiger ÖPNV leistet nicht nur einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende, sondern macht den öffentlichen Verkehr auch attraktiver für die Bevölkerung. Mit einem umweltfreundlichen ÖPNV zeigt der Landkreis mit seinen Kommunen, dass Mobilität und Klimaschutz Hand in Hand gehen. In Hinblick auf die besondere Förderung von Bussen mit emissionsfreien oder emissionsarmen Antrieben im Sinne des § 2 Nrn. 5, 6 Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz durch die Landesregierung ist hier die Umrüstung auf erneuerbar angetriebene Fahrzeuge besonders hervorzuheben. Die Clean-Vehicle-Directive (CVD) der EU gibt zudem vor, dass bei Ausschreibungen überhalb des EU-Schwellenwertes von Verkehrsunternehmen, die einen öffentlichen Dienstauftrag ausführen, Mindestquoten an emissionsarmen und "sauberen" Fahrzeugen nach Definition der CVD erfüllt werden müssen. Elektrisch betriebene Busse können hierfür eingesetzt werden. Daneben stellen mit Wasserstoff betriebene Fahrzeuge eine weitere Möglichkeit dar. Die Entscheidung kann zum Beispiel abhängig von der täglichen Fahrstrecke der Busse getroffen werden. Die Betreuung des ÖPNV hat der Landkreis Lichtenfels inne. In den Ausschreibungen für Linien-Bündel kann der Landkreis über Anforderungen an die Emissionen der Busse auch dazu beitragen, den ÖPNV zu defossilisieren bzw. emissionsärmer zu gestalten. Umsetzung 1. Bestandsaufnahme des aktuellen Fuhrparks. Auflistung aller Busse nach Klasse, Kraftstoffart, Fahrleistung und Alter. 2. Berücksichtigung von Nahverkehrskonzepten und Fahrplänen. 3. Priorisierung der Umrüstung der Busse, beispielsweise nach CO₂-Emissionen oder Alter. 4. (Landkreisweite Sammel-)Ausschreibung für ausgewählte Busse. 5. Sukzessive Umrüstung des gesamten ÖPNV.	
Zeitraum:	fortlaufend während der nächsten Ausschreibungsperioden
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Verkehrsbetreibergesellschaften
Betroffene Akteure:	Landkreis, Verkehrsbetreibergesellschaften, Kommunen
Kosten:	individuell, je nach Fuhrpark (Grober Richtwert: 600.000 € elektrischer Omnibus)

M25 Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität

Priorität: mittel

Beschreibung und Ziel

Die Bedeutung der öffentlichen Ladeinfrastruktur wächst kontinuierlich, da die Elektromobilität eine Schlüsselrolle in der Energiewende und der Reduktion von CO₂-Emissionen spielt. Der Ausbau einer flächendeckenden öffentlichen Ladeinfrastruktur ermöglicht es, die Akzeptanz und Nutzung von Elektrofahrzeugen zu steigern und so den Verkehr nachhaltiger zu gestalten.

Der Landkreis und die Kommunen können hierbei aktiv werden. Eine Möglichkeit besteht darin, dass jede Kommune für sich den Ausbau der Infrastruktur vorantreibt. Hierbei können aus dem Energienutzungsplan die kommunenscharfen Zahlen zu den Strombedarfen der Elektromobilität herangezogen werden. Daraus lassen sich die Bedarfe an kumulierter Ladeleistung in den Stützjahren abschätzen. Außerdem kann die kartographische Darstellung des Bedarfs der Ladeinfrastruktur Aufschluss darüber geben, wo sich der Ausbau besonders anbietet. Eine weitere Möglichkeit bietet der interkommunale Zusammenschluss und die gemeinsame Planung der Ladeinfrastruktur. Durch gemeinsame Planung und Umsetzung lassen sich Synergien, beispielsweise in der Bestimmung der Ladeleistung sowie der Standorte der Ladeinfrastruktur nutzen. Durch interkommunale oder landkreisweite Ausschreibe-Verfahren für die geplante Infrastruktur können gegebenenfalls Kosten gesenkt und eine landkreisweit einheitliche Infrastruktur geschaffen werden. Die Aufgabe der Planung und Ausschreibung von Ladeinfrastruktur könnte auch vom Regionalwerk Obermain übernommen werden. Im Rahmen der aktuellen Planung des Deutschlandnetzes wurde der Stadt Lichtenfels ein Regionallos zugewiesen, welches acht Ladepunkte mit insgesamt 1,6 MW Ladeleistung beinhaltet. Weitere geeignete Regionen für den Aufbau von Ladeinfrastruktur können dem ENP entnommen werden. Die Orte entlang der Autobahn A73 sowie an den Bundesstraßen sind hier besonders hervorzuheben.

Umsetzung

1. Interkommunale Abstimmung über Zusammenarbeit.
2. Bestimmung der Bedarfe öffentlicher Ladeinfrastruktur hinsichtlich Leistungen und Standorte, ggf. über das Regionalwerk
3. Erarbeitung eines Konzepts für die Ladeinfrastruktur in Abstimmung mit beteiligten Kommunen, Verkehrsbetreibergesellschaften und Netzbetreibern, ggf. über das Regionalwerk
4. (Gemeinsame interkommunale) Ausschreibung für Ladeinfrastruktur.

Zeitraum:

fortlaufend, angelehnt an Bedarfe aus ENP und Konzepten zur Ladesäuleninfrastruktur

Verantwortliche Akteure:

Regionalwerk

Betroffene Akteure:	Regionalwerk, Kommunen, Verkehrsbetreibergesellschaften, Netzbetreiber, Projektierer
Kosten:	individuell, je nach Ladeinfrastruktur (Grober Richtwert: 350 - 400 €/kW Ladeleistung)

M26 Installation von Fahrrad-Hubs, insbesondere an Verkehrsknotenpunkten		Priorität: gering
Beschreibung und Ziel Fahrrad-Hubs sind zentrale Stationen, an denen Fahrräder und E-Bikes sicher abgestellt, geladen oder ausgeliehen werden können. Besonders an Verkehrsknotenpunkten wie Bahnhöfen, großen Busstationen oder Umsteigeplätzen erhöhen sie die Flexibilität von Pendlern und Reisenden. Durch die Schaffung von wettergeschützten Stellflächen an diesen Knotenpunkten kann die Nutzung von Fahrrädern gefördert werden. Zusätzlich können Leihräder in diesen Hubs integriert werden, sodass Nutzer spontan ein Fahrrad oder E-Bike mieten und ihre Fahrt nahtlos fortsetzen können. Dies trägt zur Entlastung des Verkehrs bei und fördert eine umweltfreundliche Mobilität. Moderne Fahrradhubs sind oft mit digitaler Zugangskontrolle, wettergeschützten Stellplätzen und Lademöglichkeiten für E-Bikes ausgestattet, um eine sichere und bequeme Nutzung zu gewährleisten. Angelehnt an die Ergebnisse aus dem ENP zu einem möglichen Hochlauf an E-Bikes kann von einem erhöhten Bedarf an Ladeinfrastruktur für diese Fahrräder in den kommenden Jahren ausgegangen werden. Das Regionalwerk Obermain könnte hierbei unterstützende Wirkung haben und beispielsweise geeignete Standorte identifizieren und Konzepte für die Fahrrad-Hubs ausarbeiten. Auch Betrieb und Verwaltung können Aufgaben des Regionalwerks sein. Umsetzung 1. Interkommunale Abstimmung über Zusammenarbeit. 2. Identifikation geeigneter Verkehrsknotenpunkte als Standorte und Ausarbeitung von Konzepten, ggf. durch das Regionalwerk. 3. (Interkommunale oder landkreisweite) Ausschreibung für Fahrrad-Hubs.		
Zeitraum:	sofort	
Verantwortliche Akteure:	Kommunen, Regionalwerk	
Betroffene Akteure:	Kommunen, Regionalwerk	
Kosten:	individuell, je nach Größe, Standort und Ausstattung	

M27 Ausweitung der Carsharing-Angebote	Priorität: gering
Beschreibung und Ziel Carsharing bietet eine nachhaltige Möglichkeit, die Mobilität zu verbessern und den Individualverkehr zu reduzieren. Dafür gibt es verschiedene Modelle, wie das stationsbasierte Carsharing, bei dem Fahrzeuge an festen Standorten ausgeliehen und zurückgegeben werden, oder das flexiblere Modell, bei dem Autos innerhalb eines bestimmten Gebiets genutzt und abgestellt werden können. Zusätzlich kann das Angebot an Mitfahrbänken an zentralen Standorten in den Kommunen erweitert werden. Sie ermöglichen es, spontan Fahrgemeinschaften zu bilden: Personen, die eine Mitfahrgelegenheit suchen, setzen sich auf die Bank, während vorbeifahrende Autofahrer entscheiden können, ob sie die Person mitnehmen. Eine digitale Lösung in Form einer App kann die Organisation von Carsharing und Mitfahrgelegenheiten erleichtern. Nutzer können Fahrten in Echtzeit oder im Voraus planen, Mitfahrgelegenheiten anbieten oder suchen und direkt über die App Fahrgemeinschaften bilden. Zudem zeigt die App Standorte und Verfügbarkeiten von Carsharing-Fahrzeugen an, ermöglicht Buchungen und liefert weitere Informationen zu den verfügbaren Fahrzeugen. Durch eine solche Plattform wird die Nutzung nachhaltiger Mobilitätsangebote deutlich attraktiver und effizienter. Über das Regionalwerk Obermain könnte beispielsweise ein Leihservice aufgebaut und Carsharing-Modelle geschaffen werden. Umsetzung 1. Identifikation von Standorten für Stellplätze von Carsharing-Fahrzeugen. 2. Identifikation von Standorten für weitere Mitfahrbänken 3. Aufbau eines Betreibermodells inkl. Bereitstellung einer App für das Carsharing-Modell.	
Zeitraum:	sofort
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Landkreis, Regionalwerk, Kommunen
Kosten:	individuell

M28 Energieeffizienter Betrieb der Landkreisliegenschaften	Priorität: gering
Beschreibung und Ziel Die energetische Sanierung und der effiziente Betrieb von Landkreisliegenschaften spielen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung der Klimaschutzziele und haben eine wichtige Vorbildfunktion. Daher sollte ein höchstmöglicher energetischer Standard angestrebt und kontinuierlich Maßnahmen zur weiteren Optimierung ergriffen werden. Neben der Sanierung der Gebäudehülle ist auch bei technischen Anlagen wie Lüftungssystemen, Beleuchtung, Heiz- und Pumpensystemen auf eine möglichst hohe Energieeffizienz zu achten. Zudem sollten alle wirtschaftlich und technisch geeigneten Dachflächen für die Installation von Photovoltaikanlagen genutzt werden. Ergänzend dazu ist die Integration von Batteriespeichern anzustreben, um eine möglichst hohe Eigenverbrauchsquote zu erreichen und gleichzeitig netzdienlich zu agieren. Durch die konsequente Umsetzung dieser Maßnahmen kann der Energieverbrauch der Landkreisliegenschaften signifikant reduziert werden, Betriebskosten gesenkt und ein wichtiger Beitrag zur Energiewende im Landkreis geleistet werden. Die Einführung eines Energiemanagements und die Umsetzung der Maßnahmen könnte durch einen Energieberater durchgeführt werden. Siehe ergänzend Maßnahme M19 zur Energieberatung für Bürger und Unternehmen. Umsetzung 1. Einführung eines Verbrauchsmonitoring über Energiemanagement-Tool 2. Potenziale identifizieren, z.B. anhand eines kommunalen Energiemanagements, Prüfung eines Energiesparcontracting (Contracting-Orientierungsberatung) 3. Ausarbeitung einer Prioritätenliste im Landkreis	
Zeitraum:	Kurz-mittelfristige Ausarbeitung der Prioritätenliste. Anschließend kontinuierliche Durchführung der Sanierungsmaßnahmen
Verantwortliche Akteure:	Kommunen / Landkreis
Betroffene Akteure:	Kommune / Landkreis, Regionalwerk
Kosten:	je nach Umfang der Maßnahmen; Contracting-Orientierungsberatung 15.000€ (BAFA Förderung möglich)

M29 Prüfung innovativer Technologien zur Energiegewinnung	Priorität: gering
Beschreibung und Ziel Der Anstoß für diese Maßnahme entstand aus den Bürgerforen, in denen der Wunsch geäußert wurde, neue und ressourcenschonende Technologien stärker in die regionale Energieversorgung zu integrieren. Um neue Potenziale für die nachhaltige Energieerzeugung zu erschließen, könnte die Integration innovativer Technologien geprüft werden. Neben etablierten erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik und Windkraft gewinnen neue Technologien zunehmend an Bedeutung. Ein Beispiel hierfür ist die Kitekraft-Technologie, die durch den Einsatz von fliegenden Windkraftanlagen weniger Platz und Material benötigt. Diese Maßnahme könnte eine systematische Analyse innovativer Energiekonzepte umfassen, um deren technische Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und mögliche Einsatzgebiete im Landkreis zu bewerten. Dabei wären neben Kitekraftanlagen auch weitere neue Technologien, wie Floating-PV oder alternative Speichersysteme, zu berücksichtigen Umsetzung 1. Identifikation relevanter innovativer Technologien 2. Technische und wirtschaftliche Machbarkeitsprüfungen innovativer Energieprojekte 3. Pilotprojekte oder Testanlagen in geeigneten Gebieten zur Erprobung neuer Technologien (beispielsweise Windkite auf stillgelegter Hausmülldeponie Oberlangheim) 4. Kooperation mit Forschungseinrichtungen und Technologieanbietern	
Zeitraum:	mittel- bis langfristig
Verantwortliche Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk
Betroffene Akteure:	Landkreis, Kommunen, Regionalwerk, Investoren
Kosten:	individuell, je nach Umfang der Maßnahme

7 Schwerpunktprojekte

7.1 Energiekonzept für die Deponie Oberlangheim

Da das Schwerpunktprojekt gesondert gefördert wurde, wird es in einem eigenständigen Abschlussbericht behandelt. Im Folgenden wird die dort enthaltene Zusammenfassung dargestellt, um die wesentlichen Inhalte im Kontext dieses Berichts aufzuzeigen.

Im Rahmen des Detailprojekts wurden Maßnahmen untersucht, um den Ausbau der erneuerbaren Energien auf der stillgelegten Hausmülldeponie Oberlangheim voranzutreiben. Dabei werden verschiedene Möglichkeiten beleuchtet, darunter die Nutzung des Deponiegases mittels Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), die Wasserstofferzeugung auf der Deponie, die Errichtung einer PV-Freiflächenanlage auf einer Teilfläche der Deponie sowie die Nutzung von Windkraft.

Zunächst wird die Deponiegasnutzung mittels Kraft-Wärme-Kopplung betrachtet. Hierbei kann das Deponiegas in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) motorisch genutzt werden, um Strom und Wärme zu produzieren. Im Gegensatz zur Verbrennung über eine Gasfackel könnte das anfallende Deponiegas so energetisch genutzt und in Strom und Wärme umgewandelt werden. Schwachgas-BHKWs können Gase mit einem Methangehalt bis zu 15 Vol.-% verarbeiten. Prognosen zeigen, dass der Methangehalt, der anfallende Volumenstrom und der Heizwert bis 2030 weiter sinken wird, was die Betriebsfähigkeit eines BHKWs in Frage stellt. Zudem kann die anfallende Wärme aus dem BHKW nach aktueller Einschätzung nicht genutzt werden. Eine zusätzliche Methanaufbereitung zur Heizwertsteigerung ist derzeit ebenfalls nicht wirtschaftlich realisierbar, da im Deponiegas zusätzlich hohe Mengen an Stickstoff vorhanden sind.

Ein weiterer Ansatz ist die Wasserstofferzeugung auf der Deponie. Hierbei wird das Methan im Deponiegas genutzt, um Wasserstoff zu erzeugen. Dies kann durch Methanpyrolyse oder Reforming geschehen. Bei der Methanpyrolyse wird Methan unter Sauerstoffabschluss und hohen Temperaturen in Kohlenstoff und Wasserstoff aufgespalten. Alternativ kann das Reforming von Methan angewandt werden, bei dem Methan mit Wasserdampf zersetzt wird, wodurch Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid entstehen. Aufgrund der örtlichen Rahmenbedingungen ist technischer und wirtschaftlicher Betrieb einer solchen Anlage nicht möglich. Weiterhin wurde die Plasmalyse des anfallenden Sickerwassers auf der Deponie

untersucht. Der anfallende Sickerwasservolumenstrom von 0,1 m³/h auf der Deponie ist nach Aussagen der Hersteller zu gering, um eine solche Anlage betreiben zu können.

Zusätzlich wird die Errichtung einer PV-Freiflächenanlage auf einer 3,5 Hektar großen Teilfläche der Deponie in Betracht gezogen. Diese Photovoltaikanlage könnte zur Erzeugung von Solarstrom genutzt werden. Nach aktueller Einschätzung ist ein wirtschaftlicher Betrieb mit Stromgestehungskosten von mehr als 7,00 ct/kWh gegenüber dem Marktwert PV von 4,70 ct/kWh und dem Ausschreibungshöchstwert der BNetzA für das Jahr 2025 von 6,8 ct/kWh kaum möglich. Es würden außerdem zusätzliche Kosten zur Anbindung der PV-Anlage an das Stromnetz in von bis zu 900.000 € notwendig. Dennoch sollte im weiteren Verlauf die Notwendigkeit einer zusätzlichen Ausgleichsfläche für eine mögliche PV-Anlage betrachtet werden, da nach jetzigem Stand keine zusätzlichen Ausgleichsflächen notwendig sind und die Errichtung durch Anpassung der Wirtschaftlichkeit attraktiv werden könnte. Zudem sollte geprüft, ob es bei der Planung und Errichtung einer solchen Anlage Synergieeffekte gibt, welche die Investitions- und Betriebskosten senken können und ob es möglich ist, eine höhere Leistung mit niedrigeren spez. Kosten zu installieren.

Beim Thema Windkraft gab es in der Vergangenheit keine Anfragen für Windkraftprojekte auf der Deponie. Neben dem erfolgreichen Bauleitplanverfahren wären zusätzliche Genehmigungen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz notwendig, was den organisatorischen Aufwand erhöht. Aufgrund der Nähe zu einem Vogelschutz- und FFH-Gebiet sind die Realisierungschancen gering. Die Deponiefläche ist im bayerischen Energieatlas zudem von der Windkraftkulisse ausgeschlossen und wurde nicht vom regionalen Planungsverband als Vorrang- und Vorbehaltsfläche ausgewiesen. Es gibt Pilotprojekte für alternative Windkraftanlagen wie Windkites, die weniger Platz und Material benötigen, damit einen geringeren Einfluss auf die Umwelt haben und in höheren Höhenlagen operieren können. Diese Technologie befindet sich jedoch noch in der Pilotphase und ist monetär schwer abschätzbar. Dennoch ist es hier ratsam, z. B. über das Regionalwerk mit Herstellern entsprechender Technologien in Kontakt zu bleiben, um frühzeitig reagieren zu können und eine Pilotanlage errichten zu können.

7.2 Klärschlammverbund

7.2.1 Einleitung

Klärschlamm ist der bei der Abwasserbehandlung in Kläranlagen anfallende Schlamm und beschreibt eine Mischung aus pastösen Stoffen und Feststoffen, die bei der Abwasserreinigung durch Sedimentation anfallen und einer gesonderten Behandlung unterliegen. Der Klärschlamm ist Pflanzennährstoffträger und enthält insbesondere Phosphor. Gleichzeitig wirkt er auch als Schadstoffsенке, da neben der Anreicherung der im Abwasser vorhandenen Schwermetalle ebenso eine Anreicherung organischer Schadstoffe stattfindet. Daraus ergibt sich eine Einschränkung der landwirtschaftlichen Verwertung des Klärschlammes. Durch die Änderungen der Düngemittelverordnung (2017) und der Klärschlammverordnung (2017) wurden die Grenzwerte zur Klärschlammausbringung verschärft und zudem erhöhte bürokratische Anforderungen daran geknüpft. Darin enthalten ist außerdem die Phosphorrückgewinnung, die für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße größer 100.000 EW ab 2029 und größer 50.000 EW ab 2032 verpflichtend wird. Näheres wird in Kapitel 7.2.12 erläutert. Problematisch sind außerdem die rückläufigen Zahlen der nutzbaren Flächen und die damit einhergehende sinkende Zahl an Landwirten, die eine Ausbringung ermöglichen. Bayern setzt deshalb bevorzugt auf die thermische Verwertung des Klärschlammes. Diese Tendenz zeigt sich auch in Abbildung 54. Die Thermische Verwertung bildet derzeit schon den wichtigsten Verwertungsweg in Bayern.

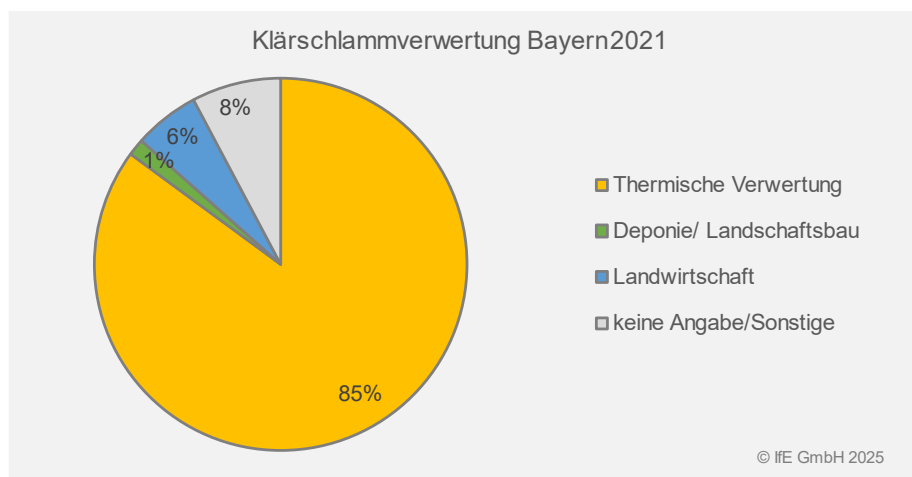


Abbildung 54: Klärschlammverwertung in Bayern 2021

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

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

7.2.2 Technische Möglichkeiten der Klärschlammverwertung

Ziel der Klärschlammbehandlung ist es, die Schlammmenge zunächst zu reduzieren und anschließend einer energetischen und stofflichen Verwertung zuzuführen. Die Reduktion der Schlammmenge wird im Wesentlichen durch die Verringerung des Wassergehaltes erreicht. Abbildung 55 zeigt die Schritte der Klärschlammbehandlung, die zu einer Massenreduktion führen.

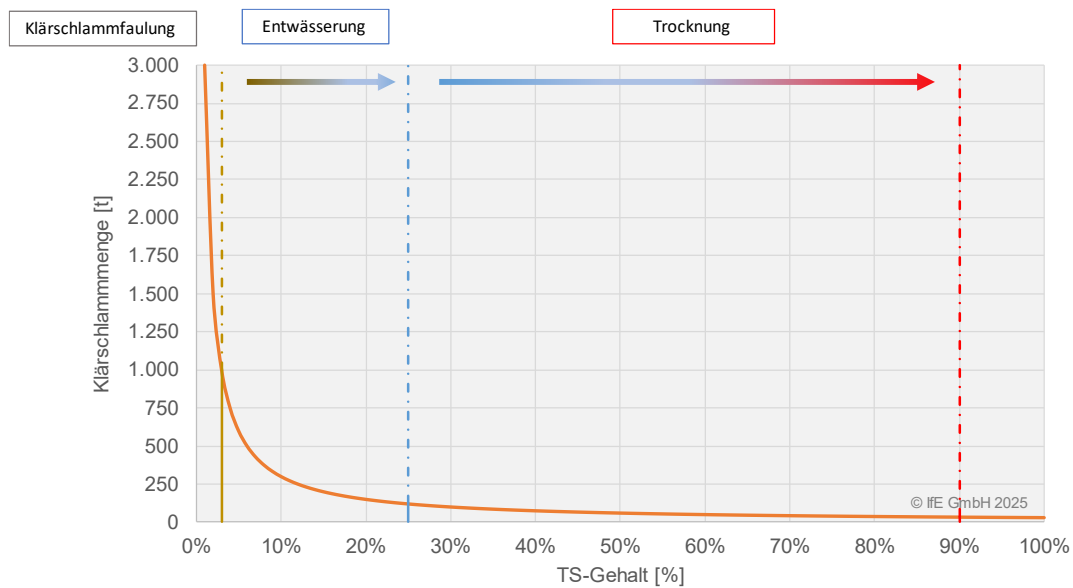


Abbildung 55: Zusammenhang zwischen Klärschlammmenge und TS-Gehalt⁵

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

7.2.3 Klärschlammfäulung

Bei der Klärschlammfäulung wird durch Luftmangel im Faulturm ein brennbares Synthesegas aus Klärschlamm erzeugt. Es kann beispielsweise in einem BHKW oder einer Turbine zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Positiv beeinflussen lässt sich die Energiebilanz der Anlage durch Eigennutzung der Energie. Ebenso kann durch die Klärschlammfäulung die Schlammmenge um bis zu 30 % reduziert werden, wodurch

⁵ In Anlehnung an DWA-M-366 Maschinelle Schlammentwässerung

geringere Mengen entsorgt werden müssen. Klärschlammfäulungen sind vor allem an größeren Kläranlagen ab 15.000 bis 20.000 EW zu finden. Im Einzelfall können unter geeigneten Rahmenbedingungen vor Ort auch Klärschlammfäulungen auf kleineren Kläranlagen betrieben werden. Dies kann zukünftig beispielsweise aufgrund steigender Energiepreise und Klärschlammverwertungskosten begünstigt werden.

7.2.4 Klärschlammmentwässerung

Der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt von Rohschlamm, welcher an den Kläranlagen nach der Abwasserreinigung anfällt, liegt bei etwa 3 %. In der Regel können Feststoffgehalte von ca. 20 – 25 % - TS erreicht werden. Durch die Entwässerung reduziert sich die Masse und somit auch die Transportmenge. Dadurch können Transportkosten und CO₂-Emissionen reduziert werden.

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



Abbildung 56: Beispiele einer Schneckenpresse zur stationären Klärschlammmentwässerung der Hersteller IEA (links) und Huber (rechts) (Quelle: IEA Derflinger und Huber SE)

Sind keine Kapazitäten in der Biologie oder dem Filtratwasserspeicher vorhanden, ist ein Zusammenschluss mehrerer (kleiner) Kläranlagen empfehlenswert. Klärschlamm einer kleineren Kläranlage kann an eine größere zur Entwässerung transportiert werden. Eine

weitere Möglichkeit ist der Zusammenschluss mehrere Kläranlagen durch Überleitung des Abwassers. Schematisch ist das Vorgehen in Abbildung 57 dargestellt.

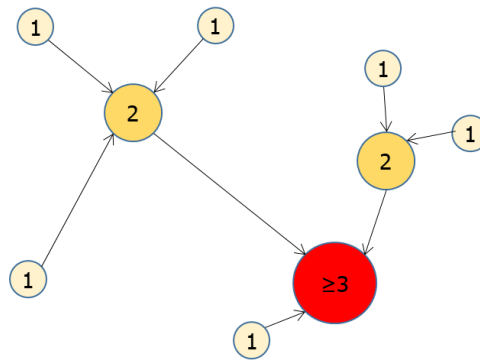


Abbildung 57: Entwässerungskonzept (nach Publikation Klärschlamm Entsorgung in Bayern)

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

7.2.5 Klärschlamm trocknung

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

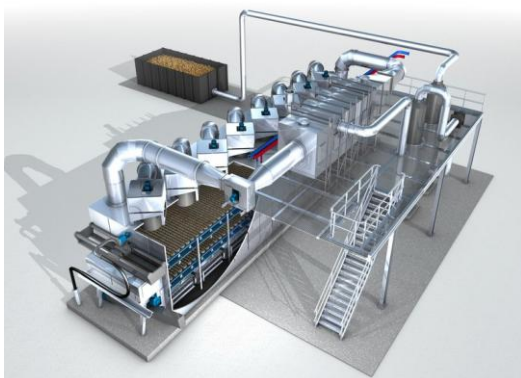


Abbildung 58: Solar- und Bandtrockner (Quelle: Thermo-System, Huber SE)

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

Die Wahl des Trocknungssystems bedarf einer Detailplanung und ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie etwa Abwärmemenge, Temperaturniveau, jährliche Verfügbarkeit, verfügbare Fläche, Personal, Kapitaleinsatz und Trockensubstanzgehalt nach der Trocknung. Die Nutzung bereits vorhandener Abwärmequellen aus Industrie, Gewerbe oder Landwirtschaft (Biogas) steht im Vordergrund. Die zusätzliche Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Trocknung soll weitestgehend vermieden werden, wodurch bislang ungenutzte Energie sinnvoll eingesetzt und zusätzlich CO₂-Emissionen eingespart werden.

Der Durchschnittliche Wärmebedarf zur Trocknung liegt bei 900 bis 1.200 kWh/t_{H₂O}, abhängig von der Technik und Effizienz der Trocknungsanlage. Die notwendige Gesamtwärmemenge zur Trocknung kann über diesen spezifischen Wert abgeschätzt werden.

In Abbildung 59 werden die wichtigsten Verfahrensschritte einer Klärschlamm Trocknungsanlage, am Beispiel eines Bandtrockners, dargestellt. Die Abluftbehandlung erfolgt in der Regel durch einen Abluftwäscher zur Entstaubung und Elimination von Schad- und Geruchsstoffen. Dabei fällt als Produkt eine Ammoniumsulfat-Lösung (ALS) an, welche als Düngemittel genutzt werden kann. Ein Biofilter dient zusätzlich zur weiteren Reduktion von Geruchseinheiten. Dabei entsteht eine gewisse Abwassermenge, welche einer Kläranlage zugeführt werden muss. Damit die Trocknungsanlage die maximale Effizienz erreicht, wird mittels Wärmetauscher die Restwärme aus der Abluft zurückgewonnen und der Zuluft zugeführt. Durch den Wärmeentzug wird die feuchte Abluft abgekühlt, dabei entsteht ein Kondensat (Brüdenkondensat). Aufgrund des Abwassers und des Brüdenkondensats muss die aktuelle Auslastung der nachgeschalteten Kläranlage bei der Evaluierung berücksichtigt werden. Insbesondere sind es hohe Konzentrationen an Ammoniumnitrat, welche eine erhebliche Belastung für die Biologie der Kläranlage darstellen können.

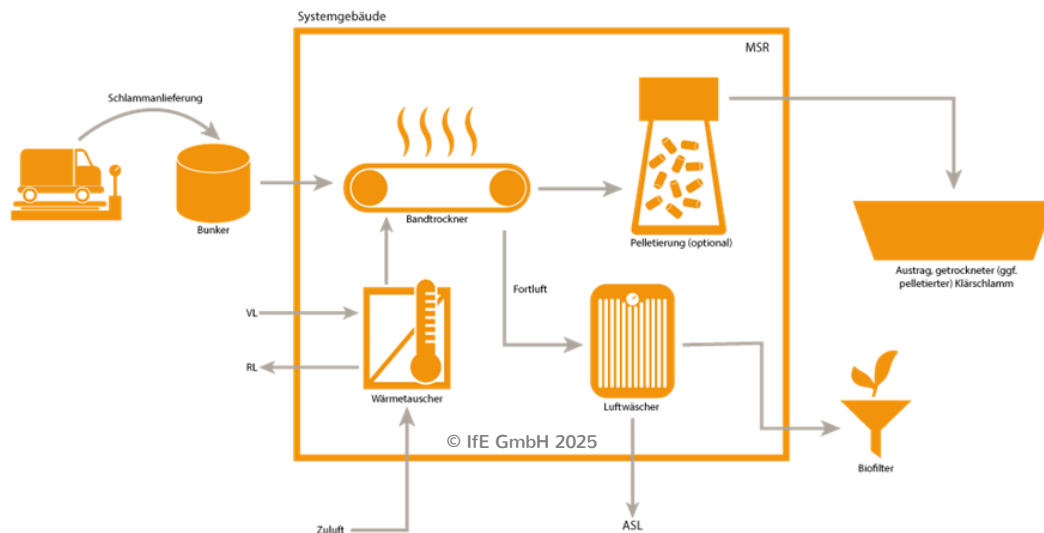


Abbildung 59: Schema einer Trocknungsanlage

Grundsätzlich ist bei der Planung einer Klärschlamm-trocknungsanlage zu prüfen, ob Verwertungskapazitäten für getrockneten Klärschlamm vorhanden sind und welche Voraussetzungen der getrocknete Klärschlamm erfüllen muss. So wird z.B. in vielen Fällen ein konstanter TS-Gehalt von rund 90 % gefordert, was i.d.R. von einer solaren Trocknung nicht gewährleistet werden kann.

7.2.6 Klärschlamm(-mono)verbrennung

Die thermische Verwertung des Klärschlammes kann entweder über die Mitverbrennung oder die Monoverbrennung erfolgen. Unter Monoverbrennung ist die alleinige thermische Verwertung eines bestimmten Produkts, im vorliegenden Fall Klärschlamm, zu verstehen. Beispiel für die Mitverbrennung ist der Brennstoffersatz in Kohlekraftwerken, Müllheizkraftwerken oder Zementwerken. Die Kapazitäten zur Verwertung von Klärschlamm sind begrenzt und können nach aktuellem Kenntnisstand nicht zur vollständigen Verwertung des anfallenden Klärschlammes beitragen. Vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus der Kohleverstromung bis spätestens 2038 werden die Klärschlamm-mengen, welche der Mitverbrennung zugeführt werden, voraussichtlich weiter sinken. Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung ab 2029 verwehrt den Kommunen zudem größtenteils die Verwertung des Klärschlammes in der Mitverbrennung. Außerdem muss am Standort der Mitverbrennung die Anlagentechnik auf die Klärschlamm-verwertung ausgelegt sein, da die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten werden müssen. Je nach Industriezweig kann nur eine begrenzte Menge Klärschlamm mitverbrannt werden, damit

die Produktanforderungen und die Qualität nicht beeinträchtigt werden. Entsprechend müssen weitere Kapazitäten zur Klärschlammverwertung in Form der Klärschlammmonoverbrennung geschaffen werden. Abbildung 60 gibt eine Übersicht, über bereits vorhandene Klärschlammverwertungsanlagen und derzeit geplanten Monoverbrennungsanlagen.

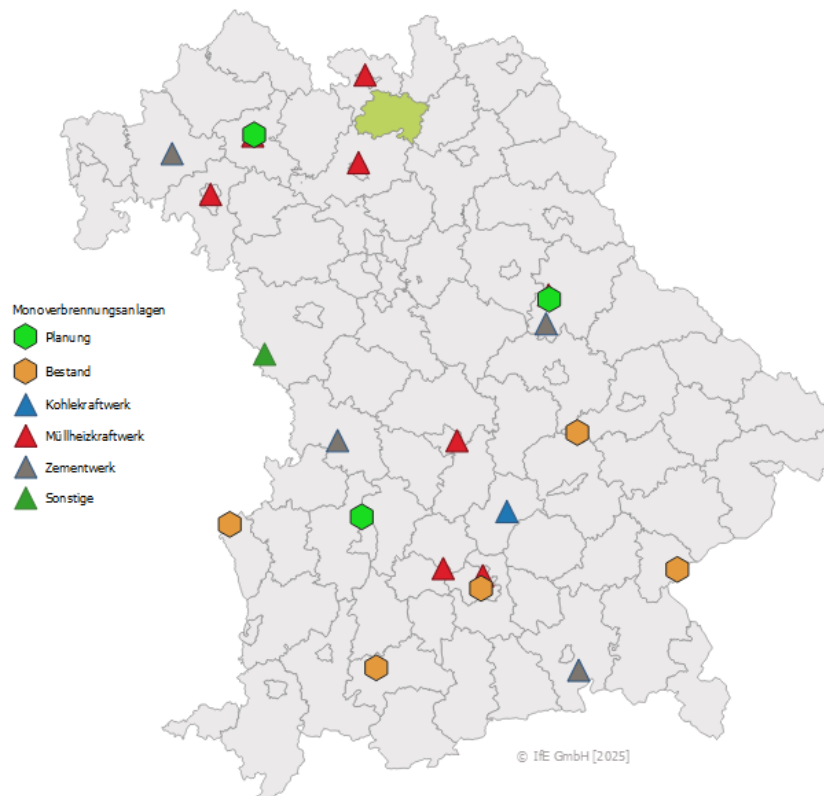


Abbildung 60: Übersicht über vorhandene und geplante thermische und stoffliche Verwertungsmöglichkeiten in Bayern

Mit den aktuell geplanten Monoverbrennungen und den Anlagen im Bestand könnten ca. 90 % der im Freistaat Bayern anfallenden Klärschlammmenge regional verwertet werden. Jedoch ist abzuwarten, ob alle Anlagen wie geplant umgesetzt werden können. Mögliche Abbruchkriterien für in Planung befindliche Monoverbrennungsanlagen sind beispielsweise Widerstand aus der Bevölkerung, genehmigungspflichtige Aspekte oder fehlende Standorte. Zusätzlich werden die steigenden Baukosten und der Zubau von neuen Verfahren zur stofflichen Klärschlammverwertung Einfluss auf die aktuell geplanten Projekte haben.

Ab einem Trockensubstanzgehalt von ca. 55 bis 60 % verbrennt der Klärschlamm selbstständig, ohne Zusatzbrennstoff. Monoverbrennungsanlagen werden in der Regel so

ausgelegt, dass sowohl Klärschlamm mit ca. 90 % Trockensubstanz als auch Klärschlamm mit ca. 25 % Trockensubstanz angenommen werden kann. Die bei der Verbrennung entstehende Wärme kann dazu genutzt werden, Klärschlamm mit ca. 25 % Trockensubstanz vor der Verbrennung auf ca. 45 – 50 % - TS-Gehalt zu trocknen.

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

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

7.2.7 Alternative Verwertungsmöglichkeiten

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

7.2.7.1 Pyrolyse

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

Das Pyrolysegas kann in einer nachgeschalteten Verbrennungskammer energetisch genutzt werden. Alternativ ist auch die Verwertung in einem KWK-System wie BHKW oder Turbine zur Strom- und Wärmeproduktion aus Klärschlamm sinnvoll. Ebenso vorteilhaft ist der

geringe Platzbedarf. Im Gegensatz zur stationären Wirbelschichtverbrennungsanlage, könnte sich eine Klärschlammpyrolyseanlage auch für kleinere Kläranlagen mit geringeren Durchsätzen eignen, auch da die benötigte Fläche geringer ausfällt.

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

7.2.7.2 Vergasung

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

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

Die zurückbleibende Asche kann zur Phosphorrückgewinnung genutzt werden.

7.2.7.3 Hydrothermale Carbonisierung (HTC) [39]

Beim Prozess der hydrothermalen Carbonisierung wird innerhalb von 2 bis 16 Stunden HTC-Kohle aus Roh- oder Faulschlamm hergestellt. Die Konversion von Klärschlamm und Wasser findet unter Luftabschluss bei einem Druck von 10 bis 40 bar statt. Die Temperaturen der

Umwandlungsreaktion liegen zwischen 180 und 240 °C. Bei Bedarf wird zur Stabilisierung des Prozesses Säure hinzugefügt. Das Produkt nach der Reaktion weist einen höheren Heizwert und Kohlenstoffgehalt verglichen zum Aufgabematerial auf. Als Nebenprodukte fallen Abgase, die aufwendig gereinigt werden müssen, und Abwasser an. Dieses weist einen hohen Stickstoffgehalt und hohe Konzentrationen an organischen Bestandteilen auf. Die organischen Anteile sollten anaerob behandelt werden, um die darin enthaltene Energie zurückzugewinnen.

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

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

7.2.7.4 OxFA-Prozess

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

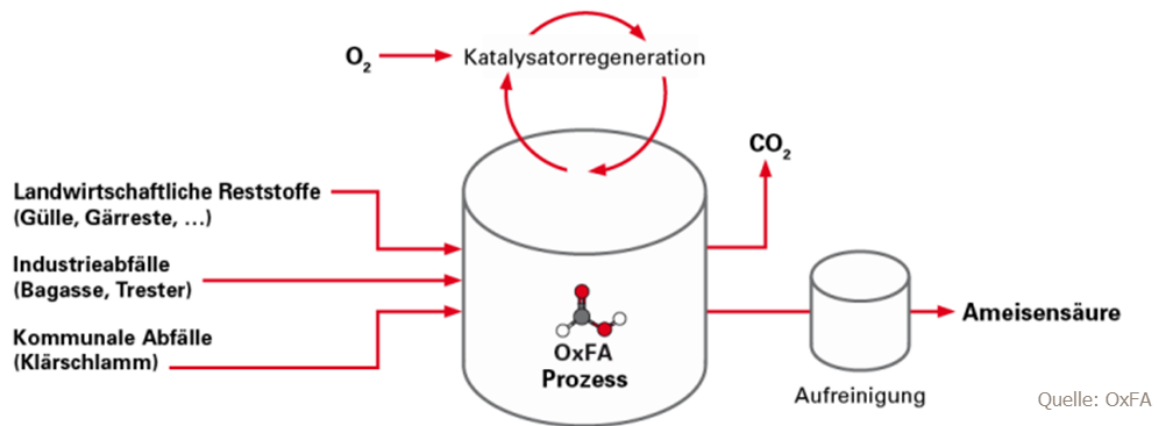


Abbildung 61: Der OxFA-Prozess

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

Ameisensäure hat ein breites Einsatzspektrum als

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

7.2.8 Aufbau einer fundierten Datengrundlage

Im Rahmen einer umfassenden Datenerhebung wurden alle kommunalen Kläranlagen hinsichtlich relevanter Parameter erfasst. Neben der Ist-Situation sollen auch die zukünftige Planung, sowie mögliche Zusammenschlüsse mitberücksichtigt werden. Aus den erhobenen Daten kann mittels eines Geoinformationssystems (GIS) eine übersichtliche Darstellung verschiedener relevanter Daten erstellt werden, wie in Abbildung 62 bis Abbildung 66 veranschaulicht wird.

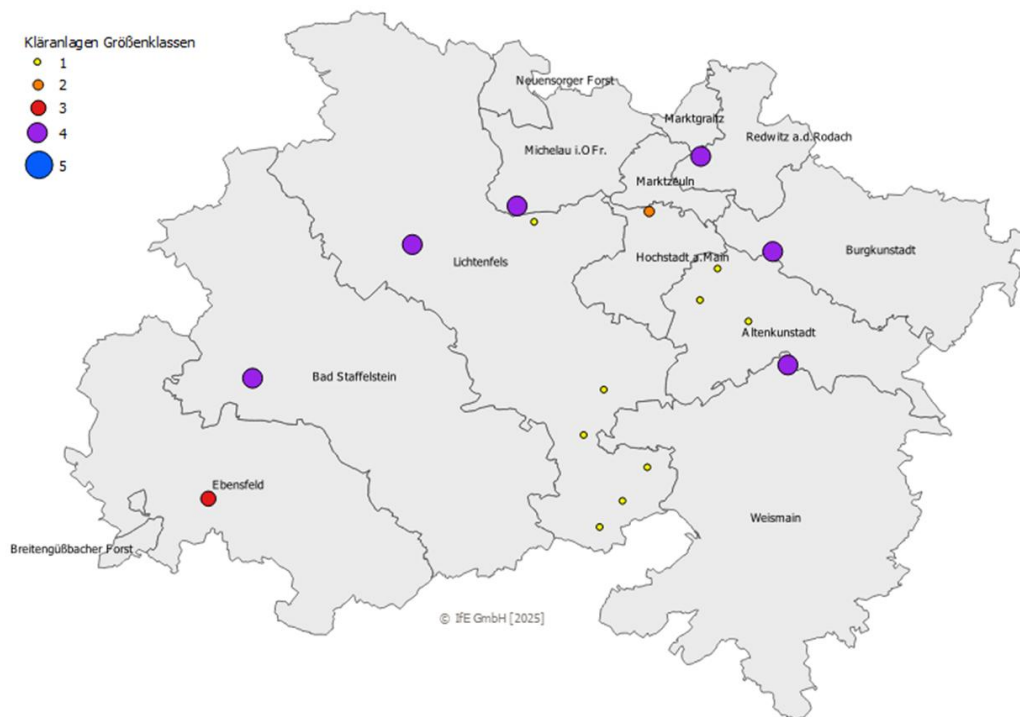


Abbildung 62: Kläranlagenstruktur im Landkreis Lichtenfels

Die Darstellung zeigt den Landkreis Lichtenfels mit den einzelnen Kommunen. Aktuell werden im Landkreis 18 Kläranlagen der Größenklassen I bis IV betrieben. Hierbei ist ersichtlich, dass viele Kommunen bereits nur noch eine zentrale große Kläranlage betreiben. Kleine Kläranlagen der Größenklasse I sind überwiegend noch in Lichtenfels vorhanden. Auch Altenkunstadt betreibt noch drei GK I Kläranlagen, leitet aber das meiste Abwasser in die Kläranlage AZV Kunstadt ein.

Neben den Klärschlamm-mengen wurden auch Informationen zur aktuellen und geplanten Klärschlammbehandlung an den kommunalen Kläranlagen erfasst. Hierzu zählen Anlagentyp, Art der Entwässerung, Art der Trocknung und die weitere Verwertung oder Entsorgung. Kleinere Anlagen der Größenklassen I und II sind häufig Teichkläranlagen. Im Landkreis Lichtenfels werden keine Teichkläranlagen betrieben. Die Kläranlagen der Größenklasse I sind SBR-Anlagen oder Belebungsanlagen mit gemeinsamer Schlammstabilisierung. Aufgrund der geringen Größe wird der Klärschlamm nicht kontinuierlich abgeführt, sondern in größeren Zeitabständen bzw. im mehrjährigen Turnus ausgebaggert, was in der Datenerfassung ebenfalls abgefragt wurde.

Damit die zukünftig anfallenden Klärschlamm-mengen zielführend abgeschätzt werden können, wird ein Zeitraum von drei Jahren, hier 2020 bis 2022, betrachtet. Sind in diesem Zeitraum keine aussagekräftigen Mengenangaben erfasst worden, wird die zu erwartende Klärschlamm-menge nach Literaturwerten bestimmt. Somit ergibt sich für den Landkreis Lichtenfels eine gesamte durchschnittliche Klärschlamm-menge von rund 1.500 t_{TM}/a. Bezogen auf die jeweils maximal angefallenen Klärschlamm-mengen je Kläranlage ergibt sich eine jährliche Klärschlamm-menge von ca. 1.700 t_{TM}.

Abbildung 63 zeigt eine Übersicht der jährlich anfallenden Klärschlamm-mengen nach Größenklassen. Zudem ist die Anzahl der Kläranlagen der jeweiligen Größenklasse dargestellt.

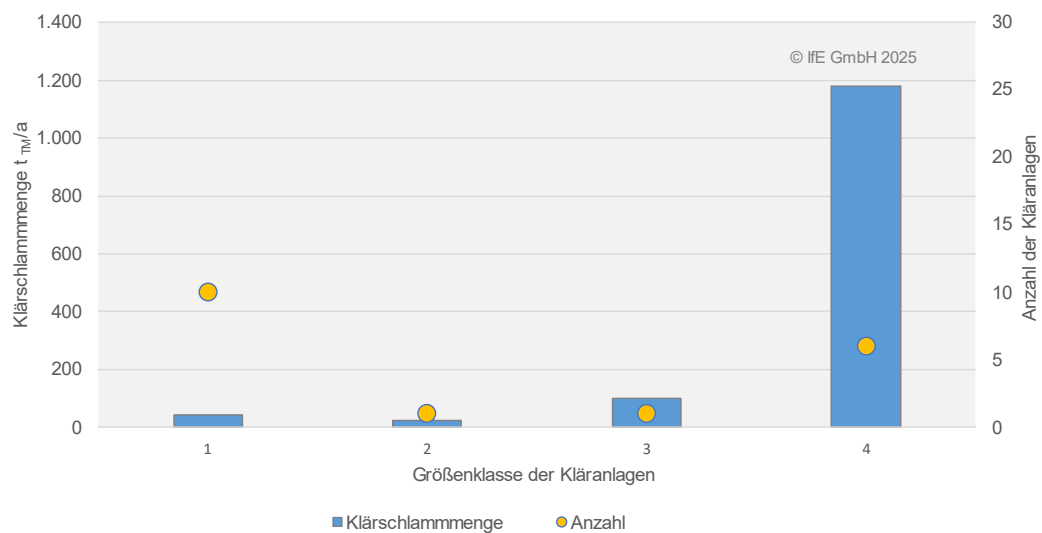


Abbildung 63: Klärschlammfall nach Größenklassen

Die Grafik veranschaulicht, dass Kläranlagen der Größenklassen I und II einen geringeren Anteil an der anfallenden Klärschlamm-menge haben. Etwa 95 % des Klärschlammes fällt an Kläranlagen der Größenklasse III und IV an.

Abbildung 64 zeigt die aktuellen Entwässerungsstrukturen in den Kommunen. Kläranlagen, an denen derzeit stationär entwässert wird, sind blau umrandet. Die mobile Entwässerung über einen Dienstleister ist schwarz umrandet dargestellt.

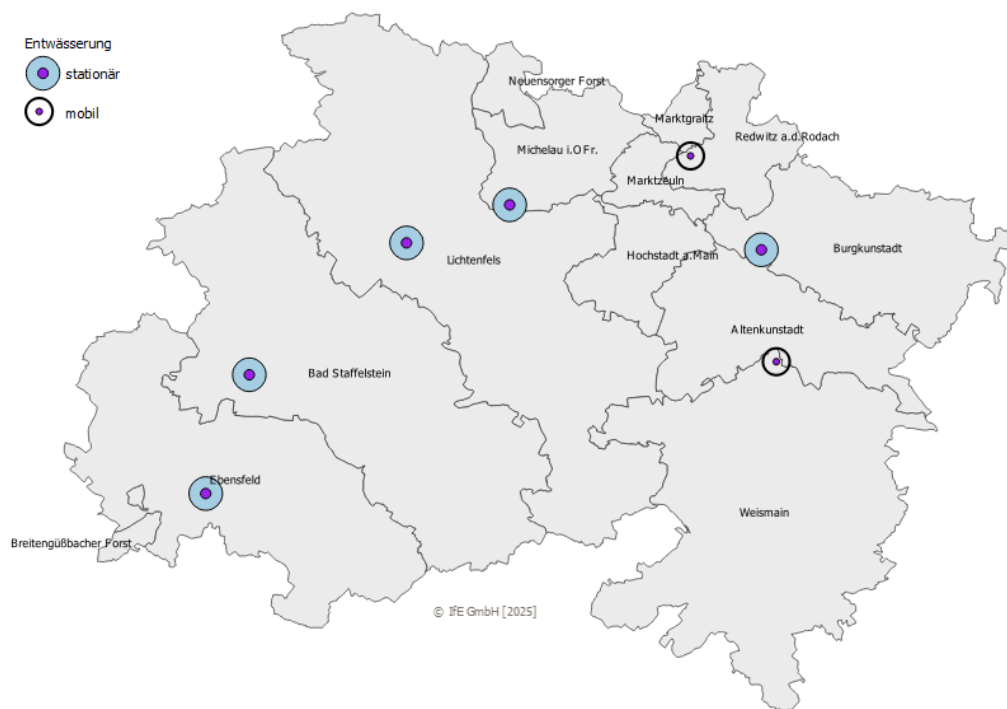


Abbildung 64: Aktuelle Entwässerungsstrukturen in den Kommunen

Die Übersicht zeigt, dass an den größeren Kläranlagen des Landkreises eine Klärschlamm-Entwässerung stattfindet. Überwiegend handelt es sich dabei um stationäre Entwässerungen. Nur auf den Kläranlagen Redwitz und Weismain wird mobil entwässert. Zum Stand der Datenerfassung liegen insgesamt fast 100 % des kommunalen Klärschlammes in entwässerter Form vor.

Auf die Entwässerung kann je nach Verwertungsweg die Klärschlamm-trocknung folgen. Im Landkreis Lichtenfels besteht aktuell noch keine Klärschlamm-trocknungsanlage. Auf der Kläranlage Lichtenfels besteht ein Klärschlamm-trockner, welcher jahrelang stillstand und mit fossilem Brennstoff betrieben wurde. Bei aktuellen Trocknungsversuchen, beispielsweise mit der Abwärme des BHKW, konnten Trockensubstanzgehalte von maximal 60 % erreicht werden. Dieser TS-Gehalt ist für die künftige Verwertung des Klärschlammes zu gering, da die Verwertungsanlagen einen TS-Gehalt von über 90 % fordern. Für das Jahr 2025 sind weitere Versuche zur Klärschlamm-trocknung geplant. Es ist nicht abzusehen, ob die Trocknung funktionieren wird und welchen Durchsatz die Klärschlamm-trocknung erzielen kann. Auch die Kosten sind, sofern ein kontinuierlicher Trocknungsbetrieb erfolgen kann, nicht abzusehen.

Für den Fall, dass die gesamte Klärschlammmenge des Landkreises getrocknet werden sollen, ist eine Wärmemenge von mindestens 4 Mio. kWh/a notwendig. Diese sollte möglichst gleichmäßig über das Jahr zur Verfügung stehen, dies entspricht einer Heizleistung von ca. 485 kW bei einem Temperaturniveau von mindestens 60 °C. Zur Trocknung des Klärschlammes sollte ungenutzte Abwärme eingesetzt werden. Der Fokus liegt dabei auf bestehenden Biogasbetrieben, Industrie- oder Gewerbebetrieben mit kontinuierlicher Abwärme.

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

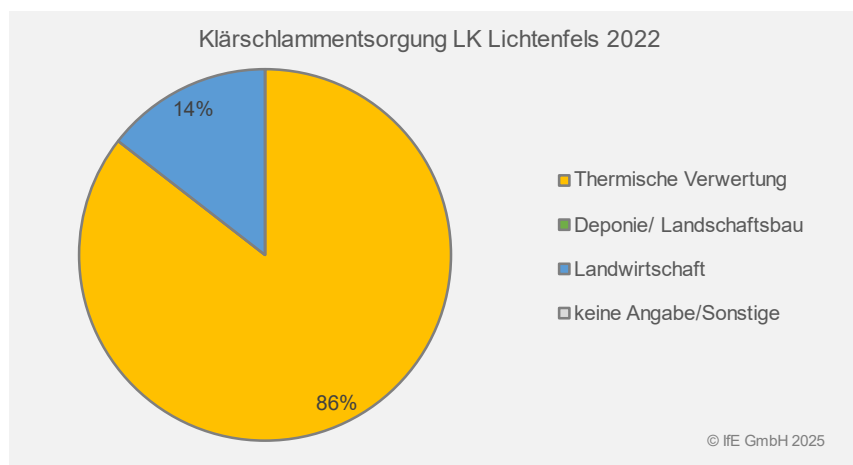


Abbildung 65: Klärschlammverwertung im Landkreis Lichtenfels 2022

Aus der Grafik geht hervor, dass über 85 % des Klärschlammes im Landkreis Lichtenfels bereits einer Thermischen Verwertung zugeführt wird. Etwa 14 % des Klärschlammes werden in der Landwirtschaft verwertet. Deponie/Landschaftsbau und keine Angabe oder eine sonstige Verwertung wurden in der Datenerfassung nicht angegeben. Vergleicht man die prozentualen Anteile der Verwertungswege im Landkreis Lichtenfels mit den Anteilen in Bayern (vgl. Abbildung 54) ist ersichtlich, dass der Anteil der Thermischen Verwertung leicht über dem Wert für gesamt Bayern liegt. Die landwirtschaftliche Verwertung ist im Landkreis Lichtenfels anteilig etwas höher als in der bayernweiten Verteilung.

Ausgewertet wurden auch die derzeitigen Klärschlamm Entsorgungskosten der einzelnen Kläranlagen inklusive Entwässerung (sofern vorhanden) und Transport. Insgesamt liegen hierzu Daten von sieben Kläranlagen vor. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 66 grafisch dargestellt.

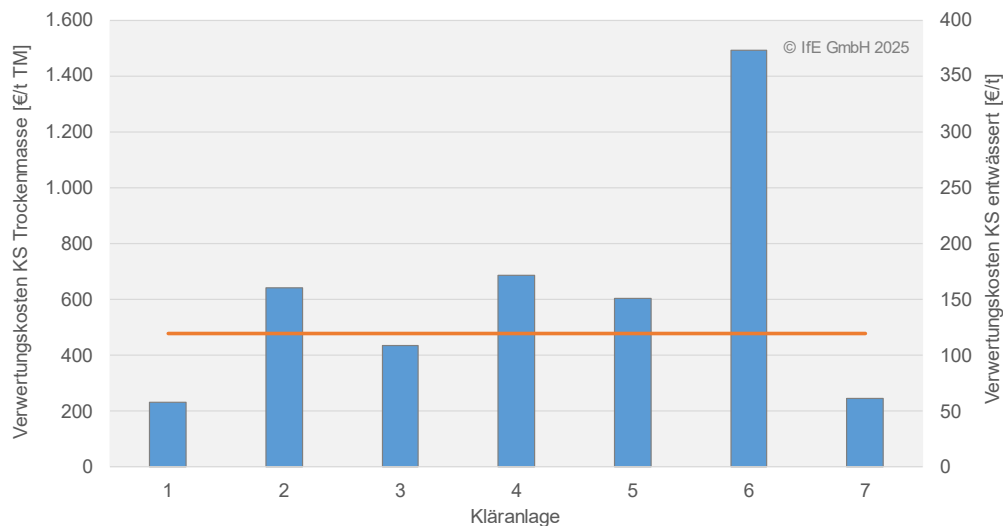


Abbildung 66: Klärschlammverwertungskosten im Landkreis Lichtenfels

Aus dem Diagramm geht hervor, dass die durchschnittlichen Verwertungskosten für Klärschlamm im Betrachtungszeitraum 2020 – 2022 nach der Datenerfassung bei knapp 475 €/t Trockenmasse liegen. Die teils unterschiedlichen Entsorgungskosten können unterschiedliche Gründe haben. Es ist davon auszugehen, dass bei der landwirtschaftlichen Verwertung und im Falle von Langzeitverträgen günstigere Verwertungskosten vorliegen. Im Landkreis Lichtenfels zeigt der Vergleich der Kläranlagen, dass kleinere Anlagen teilweise einen höheren Klärschlammentsorgungspreis zu verzeichnen haben als größere Anlagen. Faktoren wie beispielsweise Störstoffe im Klärschlamm oder der Ausfaulungsgrad können einen Einfluss auf den Entsorgungspreis haben. Des Weiteren führen der Mindermengenzuschlag bei der Entwässerung und der z. T. niedrige TS-Gehalt des Klärschlammes auf kleinen Kläranlagen zu höheren Kosten.

7.2.9 Stand und Potenzial der Klärschlammfäulung

Das Ausfäulen des Klärschlammes in einem Faulurm erzeugt Klärgas, welches durch hocheffiziente Nutzung in Form der Kraft-Wärme-Kopplung Strom und Wärme bereitstellt. Die jährliche gesamte Klärschlammmenge des Landkreises Lichtenfels könnte durch Ausfäulung theoretisch knapp 811.000 m³ Klärgas erzeugen. Damit ließen sich pro Jahr ca. 1,7 Mio. kWh Strom, sowie zusätzlich gut 2,9 Mio. kWh Wärme zur Verfügung stellen. Die Berechnung basiert auf einem spezifischen Klärgasanfall von 23 Liter pro Einwohnerwert (BSB) und Tag.

Würde der erzeugte Strom über das Netz bezogen, kann ein Emissionsfaktor von 557 gCO₂e/kWh [40] herangezogen werden. Daraus ergibt sich eine Treibhausgaseinsparung von ca. 950 tCO₂e/a. Die vom BHKW erzeugte Wärme wird überwiegend zur Beheizung des Faulbehälters benötigt. Der Faulturm kann alternativ auch mit Niedertemperaturwärme, welche über eine Wärmepumpe bereitgestellt werden kann, beheizt werden. Die Wärme vom BHKW, welche eine höhere Temperatur erreicht, könnte beispielsweise in ein Wärmenetz eingespeist werden. Da die Wärme aus einem Klärgas-BHKW als regenerative Energiequelle ohne Emissionen zu sehen ist, kann ein Vergleich zur Wärmebereitstellung mittels Erdgaskessel mit Brennwertnutzung gezogen werden. So würde durch die Wärmeerzeugung aus Erdgas etwa 201 g/kWh an CO₂-Äquivalenten an die Atmosphäre abgegeben werden [40]. Daraus ergibt sich eine theoretische jährliche Treibhausgaseinsparung von gut 580 tCO₂e.

Aktuell wird auf den Kläranlagen Lichtenfels und AZV Kunstadt eine Klärschlammfaulung betrieben. Die bestehenden Klärschlammfaulungen sowie potenzielle Standorte für eine Klärschlammfaulung zeigt Abbildung 67. Zudem wurde die Möglichkeit der Lieferung von Rohschlamm zur Ausfaulung an andere Kläranlagen geprüft.



Abbildung 67: Bestand und Potenzial der Klärschlammfaulung

Damit die Faulungen ausgelastet werden und auch wirtschaftlich darstellbar sind, wurden Cluster gebildet. Diese zeigen in Abbildung 68 welche Kläranlagen ihren Klärschlamm zur Ausfäulung an eine Anlage mit Klärschlammfäulung liefern könnten. Hierbei ist zu beachten, dass jede Kläranlage ein Vorklärbecken errichten muss.

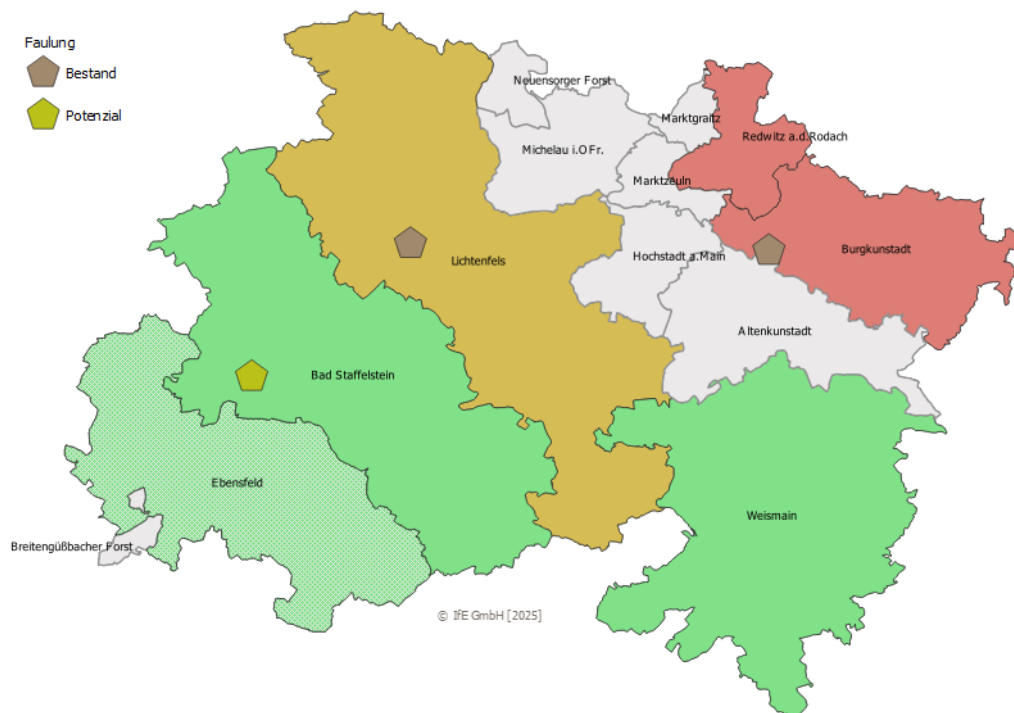


Abbildung 68: Potenzielles Cluster für die Zusammenarbeit bei der Klärschlammfäulung

Die Kläranlage AZV Kunstadt betreibt derzeit eine Klärschlammfäulung. Hier könnten laut Datenabfrage noch Kapazitäten zur Klärschlammannahme zur Verfügung stehen. Hier würde sich eine Zusammenarbeit anbieten. Wie viel Kapazität tatsächlich noch vorhanden ist, müsste im Detail geprüft werden. Die Umsetzbarkeit einer solchen Schlammannahme müsste im Vorfeld technisch geprüft und mit den Akteuren abgestimmt werden. Infrage käme eine Klärschlammlieferung der Kläranlage Weismain. Hierfür müsste ein Vorklärbecken auf der Kläranlage errichtet werden. Die Kläranlage hat derzeit noch keine stationäre Entwässerung. Laut Aussage des Bürgermeisters im Klärschlamm-Workshop, ist bereits eine stationäre Presse in Planung. Die aktuelle Klärschlammmenge der Kläranlage Weismain übersteigt die Kapazität der Klärschlammfäulung in Burgkunstadt (laut Datenerfassung). Hier müsste ein Teil des Klärschlammes direkt entwässert werden, ohne dass der Klärschlamm ausgefäult wird. Daraus würde sich eine Steigerung der erzeugten Energie ergeben. Mit dem Ausfäulen von ca. 60 % des Klärschlammes aus Weismain ließen sich zusätzlich etwa

106.000 kWh Strom und ca. 181.000 kWh Wärme pro Jahr erzeugen. Dies würde einer Treibhausgaseinsparung von gut 95 tCO₂e/a ergeben.

Für die Klärschlammlieferung der Kläranlage Redwitz nach Burgkunstadt würden die Kapazitäten der Faulung laut Datenerfassung ausreichen. Damit einhergehen würde der Bau eines Vorklärbeckens. Hierdurch würde sich zusätzlich eine Stromproduktion von etwa 133.000 kWh/a ergeben. Wärme würde ca. 228.000 kWh jährlich zur Verfügung stehen. Es könnten dadurch etwa 120 tCO₂/a eingespart werden. Vor einer Umsetzung müsste dies technisch geprüft und mit den Akteuren abgestimmt werden. Alternativ ist eine Klärschlammlieferung aus Redwitz nach Lichtenfels zur Entwässerung möglich. In Lichtenfeld bestehen bereits entsprechende Einrichtungen zur Klärschlammannahme. In dieser Variante wird empfohlen, die Ausfäulung des angenommenen Schlammes in Lichtenfels zur energetischen Nutzung zu prüfen.

Aufgrund der Ausbaugröße käme auf der Kläranlage Bad Staffelstein die Neuerrichtung einer Faulung theoretisch infrage und sollte geprüft werden.

Würde an dieser Kläranlage der Klärschlamm ausgefäult, so könnten insgesamt durch Kraft-Wärme-Kopplung etwa 345.000 kWh Strom und knapp 590.000 kWh Wärme erzeugt werden. Dadurch würden theoretisch knapp 310 tCO₂e pro Jahr eingespart werden. Grundlage der Berechnung bilden die oben in diesem Kapitel aufgeführten Literaturwerte. Aus dem Gespräch mit dem Klärwärter bei der Vor-Ort-Besichtigung der Kläranlage wurde das Thema Faulturm positiv aufgenommen. Es bestehen auch noch Flächen, die auf der Kläranlage genutzt werden können.

Würde noch Klärschlamm zur Faulung aus Redwitz und Weismain in Bad Staffelstein angenommen werden, könnten jährlich zusätzlich etwa 239.000 kWh Strom und 530.000 kWh Wärme bereitgestellt werden. Dies würde zu einer Treibhausgaseinsparung von ca. 240 tCO₂e/a führen.

In Ebensfeld wurde die Errichtung einer Klärschlammfäulung vom zuständigen Ingenieurbüro geprüft. Diese Überlegung resultiert aus der ausgelasteten Biologischen Reinigungsstufe der Kläranlage. Um diese zu entlasten, wäre ein Vorklärbecken zum Abzug des Primärschlammes sinnvoll. Bezogen auf die Ausbaugröße der Kläranlage Ebensfeld ist unter Verwendung marküblicher Kosten ein Betrieb der Klärschlammfäulung voraussichtlich nicht oder nur unter

idealen Bedingungen wirtschaftlich darstellbar. Nach Aussage des Ingenieurbüros wäre die notwendige Erweiterung der biologischen Reinigung teurer als die Errichtung einer Klärschlammfaulung, weswegen vom Ingenieurbüro die Errichtung einer Klärschlammfaulung empfohlen wird.

Betrachtet man die Kläranlagenstruktur der umliegenden Kläranlagen, zeigt sich als Alternative, ein Vorklärbecken zu bauen, um die Biologie zu entlasten und den abgezogenen Schlamm nach Bad Staffelstein zu transportieren. Auf der Kläranlage Bad Staffelstein besteht ein Potenzial für eine Klärschlammfaulung, welche voraussichtlich in einem wirtschaftlichen Rahmen betrieben werden kann. Laut Auskunft der Stadt, soll hier eine Machbarkeitsstudie zur Klärschlammfaulung durchgeführt werden. Mit der zusätzlichen Klärschlammmenge der Kläranlage Ebensfeld würde sich voraussichtlich die Wirtschaftlichkeit noch verbessern. Durch den Klärschlamm der Kläranlage Ebensfeld könnte zusätzlich etwa 132.000 kWh/a Strom und ca. 227.000 kWh Wärme erzeugt werden. Die daraus resultierenden Treibhausgaseinsparungen liegen bei knapp 120 tCO₂e/a. Als negativ zu bewerten ist für die Kläranlage Ebensfeld der zusätzliche Transportaufwand. Darüber hinaus müsste die bereits bestehende Klärschlammpresse stillgelegt werden. Eine abschließende Aussage zum wirtschaftlichsten Vorgehen kann innerhalb dieses ENPs nicht getroffen werden und ist gesondert von einem Ingenieurbüro zu bewerten.

Auch auf den Kläranlagen Redwitz und Marktzeuln-Michelau wurden bereits Überlegungen zum Bau einer Klärschlammfaulung angestoßen. Die beiden Kläranlagen haben jeweils eine höhere Ausbaugröße und mehr angeschlossene Einwohner als die Kläranlage Ebensfeld. Hier ergab die Prüfung einer Klärschlammfaulung durch Ingenieurbüros, dass diese an den beiden Kläranlagen nicht wirtschaftlich umsetzbar sind.

7.2.10 Definition einer Entwässerungsstruktur

Die Strukturierung der Klärschlammmentwässerung verfolgt unterschiedliche Ziele. Einerseits ist eine interkommunale Entwässerung des gesamten Klärschlammes sicherzustellen. Hierdurch werden Transportmengen und -wege weitestgehend reduziert. Des Weiteren ist die Entwässerung notwendig für die anschließende Verwertung. In der Monoverbrennung wird Klärschlamm als Brennstoff, in der Mitverbrennung als Ersatzbrennstoff eingesetzt, wofür dieser mindestens entwässert oder teilweise gar getrocknet vorliegen muss. Zu

beachten gibt es die Reinigungsleistung der Kläranlage. Diese darf bei der Nachrüstung einer Entwässerung nicht negativ beeinflusst werden.

In Kapitel 7.2.8 wurden die Standorte aufgezeigt, welche bereits stationär oder mobil Klärschlamm entwässern. Daraus geht hervor, dass knapp 100 % des Schlammes zum Status Quo mit etwa 25 % TS vorliegt. Nur der Klärschlamm der drei kleinen GK I Kläranlagen in Altenkunstadt wird über einen Dienstleister verwertet, da der Schlamm nicht kontinuierlich anfällt.

Teilweise kann an einigen Kläranlagen nicht entwässert werden. Gründe hierfür können das Fehlen eines Rechens oder ein ausreichender Stromanschluss sein. Die zusätzliche Belastung, welche die Rückführung des Filtratwassers in die Kläranlage mit sich bringt, stellt ein Problem dar. Kläranlagen, allen voran Teichkläranlagen, der Größenklasse I und II, können das Filtratwasser nicht behandeln. Durch die stetig steigenden Anforderungen an die Reinigungsleistung von Kläranlagen ist es häufig sinnvoll kleinere Kläranlagen aufzulassen und über Kanalleitungen an eine größere Kläranlage anzuschließen. Bleiben diese Kläranlagen bestehen, ist es möglich, den Rohschlamm an eine Kläranlage zur Entwässerung zu liefern. Die mobile Entwässerung stellt ebenso eine Möglichkeit dar. Dabei könnte lediglich das anfallende Filtratwasser zu einer größeren Kläranlage zur Behandlung transportiert werden. Welches Vorgehen im Einzelfall bevorzugt werden sollte, ist von mehreren Faktoren abhängig.

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

Auf Basis der Datenerfassung wurde eine Übersicht (Abbildung 69) erstellt welche die aktuelle Entwässerungsstruktur darstellt. Dabei sind Kläranlagen, die eine eigene Entwässerung betreiben blau umrandet eingezeichnet. Kläranlagen mit mobiler Entwässerung über Dienstleister sind schwarz umrandet gezeigt. Um die zukünftige Entwässerungsstruktur darzustellen, werden die Kommunen, die eine eigene Entwässerung durchführen, jeweils in einer anderen Farbe dargestellt (Abbildung 69). Kommunen, die zusammenarbeiten sind in der gleichen Farbe markiert.

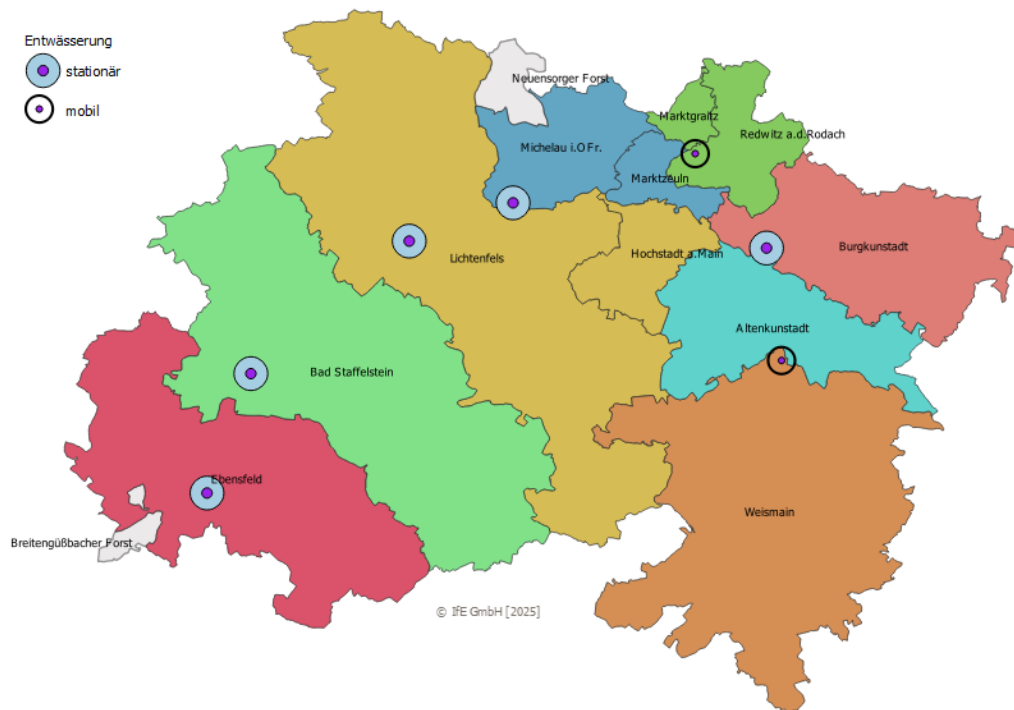


Abbildung 69: Künftige Standorte mit potenzieller Entwässerung im Landkreis Lichtenfels

Die Kommunen Marktzeuln und Marktgraitz, welche keine eigene Kläranlage auf ihrem Gemeindegebiet betreiben, werden in der Farbe der Kommune dargestellt, in die das Abwasser geleitet wird. Hochstadt a. Main liefert aktuell den Klärschlamm zur Entwässerung nach Lichtenfels, weshalb diese beiden Kommunen in der gleichen Farbe dargestellt werden. Altenkunstadt bildet ebenfalls ein eigenes Cluster, da hier der Klärschlamm der Größenklasse I Anlagen anderweitig verwertet werden muss.

Die Umsetzbarkeit der Entwässerung wurde durch Berechnungen der Filtratwasserrückbelastung bewertet. Diese basiert auf Literaturwerten und muss für konkrete Entscheidungen zur Umsetzung im Einzelfall verifiziert werden. Durch Probepressungen mit verschiedenen Entwässerungsaggregaten lassen sich die Daten konkretisieren. In welcher Form die Entwässerung auf den Kläranlagen zukünftig durchgeführt werden sollte bedarf einer Detailprüfung der Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit.

Auf den Kläranlagen Weismain und Redwitz wird aktuell noch mobil entwässert. Derzeit gibt es für die Kläranlage Weismain Planungen für eine stationäre Entwässerung. Diese soll

voraussichtlich in 2026 angeschafft werden. Die Kläranlage Redwitz wird vorerst weiter die mobile Entwässerung über einen Dienstleister nutzen.

Sollte zukünftig eine Kooperation zur Klärschlammfäulung stattfinden, wird auf den Kläranlagen kein Entwässerungsaggregat benötigt. Wird dieser Weg nicht weiter weiterverfolgt, kann in Zukunft über eine stationäre Entwässerung nachgedacht werden. Alternativ könnte eine Klärschlammlieferung an die Kläranlage Lichtenfels erfolgen, da diese in der Entwässerung noch Kapazitäten zur Annahme von Extern zur Verfügung haben.

Die Klärschlammmengen der Kläranlage Hochstadt a. Main sind nach erster Einschätzung zu gering, als dass hier eine stationäre Entwässerung wirtschaftlich umsetzbar ist. Eine mobile Entwässerung kann auf der Kläranlage nicht realisiert werden, da kein Filtratwasserspeicher vorhanden ist, dieser müsste zusätzlich errichtet werden. Somit sollte die derzeitige Klärschlammlieferung an die Kläranlage Lichtenfels beibehalten werden.

7.2.11 Potenzial zur Klärschlamm Trocknung

Für den Betrieb einer Klärschlamm Trocknungsanlage für den gesamten Klärschlamm im Landkreis Lichtenfels, wird auf dem aktuellen Stand der Technik eine Wärmemenge von mindestens 4 Mio. kWh/a bzw. eine möglichst gleichmäßig über das Jahr zur Verfügung stehende thermische Leistung von mindestens 500 kW auf einem Temperaturniveau von mindestens 60 °C benötigt.

Zur Trocknung des Klärschlammes sollte derzeit nicht genutzte Abwärme eingesetzt werden. Bei der Ermittlung geeigneter Abwärmequellen wurde der Fokus auf bestehende Biogasbetriebe in den Kommunen gelegt, bei welchen kontinuierlich Abwärme anfällt. Im Rahmen dieses Energienutzungsplans wurden Anfragen zur Ermittlung von Standorten an Biogasanlagenbetreiber im Landkreis Lichtenfels gesendet. Insgesamt haben vier Biogasanlagen an der Datenabfrage teilgenommen. An zwei Standorten ist ein Abwärmepotenzial vorhanden (siehe Abbildung 70).



Abbildung 70: Theoretische Standorte zur Klärschlamm Trocknung

Eine Biogasanlage mit Abwärmepotenzial befindet sich in Buch a. Forst. Hier wird derzeit ein Wärmenetz geplant, welches durch die Abwärme der Biogasanlage gespeist werden soll. Die Wärme steht entsprechend nur in den Sommermonaten für eine potenzielle Trocknungsanlage zur Verfügung. Da der Klärschlamm kontinuierlich über das ganze Jahr anfällt und getrocknet werden muss, wird dieses Potenzial im weiteren Verlauf nicht mehr betrachtet. Aufgrund dessen wurde die Klärschlamm Trocknung an der Biogasanlage in Altenkunstadt genauer beleuchtet. Hier hat der Betreiber der Biogasanlage vor einigen Jahren schon Planungen für eine Klärschlamm Trocknung durchgeführt. Die vorhandene Abwärme ist ausreichend, um den gesamten anfallenden Klärschlamm im Landkreis Lichtenfels zu trocknen. Nach Rücksprache mit dem Anlagenbetreiber besteht weiterhin die Möglichkeit zur Errichtung einer Klärschlamm Trocknung an der Biogasanlage. Bei Überlegungen zur Umsetzung dieser Klärschlamm Trocknungsanlage wird empfohlen, sich eng mit dem Anlagenbetreiber abzustimmen, sowie den Austausch mit den Anwohnern zu suchen. Zu beachten ist, dass eventuell anfallende Brüdenkondensate von der Abluftreinigung in einer Kläranlage behandelt werden müssen. Es ist zu prüfen, ob dieses Wasser am Standort der Trocknungsanlage in das Abwassersystem eingeleitet werden und die Kläranlage die zusätzliche Belastung aufnehmen kann. Andernfalls müsste das belastete

Wasser zu einer Kläranlage transportiert werden, deren Reinigungsleistung durch die Zusatzbelastung nicht beeinträchtigt wird. Alternativ sollte eine Trocknungsanlage ohne Brüdenkondensation geprüft werden, bei der keine belasteten Kondensate anfallen. In diesem Fall ist ein höherer Wärmebedarf zu erwarten.

Als Alternative zum Bau einer Klärschlamm-trocknungsanlage im Landkreis besteht die Möglichkeit, Gespräche mit dem MHKW Coburg zu führen. Hier ist eine Klärschlamm-trocknung geplant. Diese wird zeitnah realisiert, wenn genügend Klärschlamm-menge aus dem Verbandsgebiet generiert werden kann. Der getrocknete Klärschlamm würde anschließend in das GKS nach Schweinfurt geliefert werden.

7.2.12 Möglichkeiten der Klärschlammverwertung

Die Optimierung bzw. der Bau der Klärschlamm-fermentation sowie die Strukturierung der Klärschlamm-fermentation bilden die Basis für die weitere Klärschlamm-behandlung. Diese ist hauptsächlich von der finalen Art der Klärschlamm-verwertung abhängig. Aufgrund einer Vielzahl von Verwertungsmöglichkeiten des Klärschlamm-es werden im Folgenden die relevantesten für den Landkreis Lichtenfels erläutert.

Die Verwertung kann in verschiedene Kategorien unterschieden werden:

- Referenzszenario
- Szenario 1: Verwertung entwässerter Klärschlamm (nach dem Stand der Technik)
- Szenario 2: Verwertung getrockneter Klärschlamm (nach dem Stand der Technik)
- Szenario 3: Alternative Verwertungsverfahren

Bei allen Verwertungswegen ist die gesetzliche Phosphorrückgewinnungspflicht aus Klärschlamm oder Klärschlamm-asche zu beachten. Ab 2029 gilt diese für alle Kläranlagen der Größenklasse I bis V, wenn sich im Klärschlamm mehr als 2 % Phosphor, also 20 Gramm oder mehr je Kilogramm Trockenmasse, befinden. Dies trifft laut Datenerfassung auf alle Kläranlagen im Landkreis Lichtenfels zu. Ab 2029 ist die bodenbezogene Verwertung des Klärschlamm-es für Kläranlagen der Größenklasse V nicht mehr zulässig. Das Gleiche gilt ab 2032 ebenfalls für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 50.000 EW. Kläranlagen unter einer Ausbaugröße von 50.000 EW dürfen weiterhin den Klärschlamm bodenbezogen verwerten, da dies als Phosphorrückgewinnung gewertet wird.

Der Bau einer Monoverbrennungsanlage im Landkreis Lichtenfels wurde im Rahmen dieses Konzeptes nicht näher betrachtet, da es als Referenzanlage in der Größenordnung für die Klärschlamm-mengen aus dem Landkreis (ca. 1.500 t_{TM}) nur die Monoverbrennungsanlage auf der Insel Rügen (2.000 t_{TM}/a) gibt. Diese Anlage ist mehr als Demonstrationsanlage bzw. Pilotprojekt zu sehen und kann deshalb nicht wirtschaftlich abgebildet werden. Üblicherweise liegen die Verbrennungskapazitäten bei etwa der siebenfachen Menge Klärschlamm oder darüber. Derzeit werden bundesweit überwiegend Anlagen mit einem jährlichen Durchsatz von 11.000 bis 90.000 t_{TM}/a geplant oder befinden sich schon in der Genehmigungs- bzw. Bauphase. Nur drei von 40 in der Planungsphase befindlichen Monoverbrennungsanlagen werden mit Durchsätzen von ca. 3.300 bis 7.000 t_{TM}/a geplant. Um in diese Größenordnung zu kommen, müssten aus umliegenden Landkreisen Klärschlamm-mengen generiert werden, was mit den derzeitigen Planungen in Schwandorf und der Erweiterung des GKS in Schweinfurt schwierig werden könnte. Entscheidendes Kriterium neben der Wirtschaftlichkeit der Anlage ist die Verfügbarkeit von geeigneten Flächen. Diese müssen über einen geeigneten Wärmeabsatz verfügen. Idealerweise liegt der Standort in unmittelbarer Nähe zu oder in einem Industriegebiet. Hier können diese Voraussetzungen zur Umsetzung einer Klärschlamm-monoverbrennung geschaffen werden. In den Kommunen gibt es bisher keine Struktur zur Wärmeversorgung und wenig Industrie- bzw. Gewerbegebiete, wodurch sich die Erfüllung der Voraussetzungen schwierig gestalten könnte. Aufgrund der geringen Anlagenkapazität, die für die Verwertung des Klärschlammes notwendig wäre, die Standortnachteile und dem Zubau von Verwertungskapazitäten im Umfeld, wurde die Errichtung einer eigenen Monoverbrennungsanlage in diesem Konzept nicht berücksichtigt.

7.2.12.1 Verwertung von entwässertem Klärschlamm (nach Stand der Technik)

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

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

Kapazitätsengpässe in der Mitverbrennung, ist dieser Verwertungsweg nur noch eingeschränkt möglich.

Durch die Klärschlammmonoverbrennung werden zusätzliche Verwertungskapazitäten geschaffen. Je nach Anlagenkonzept kann entwässelter (25 % - TS) oder getrockneter (90 % - TS) Klärschlamm verwertet werden. Derzeit laufen in Bayern Planungen zum Bau mehrerer Monoverbrennungsanlagen. Im Umkreis des Landkreises Lichtenfels befindet sich keine. Die nächstgelegene geplante Monoverbrennungsanlage soll in Schwandorf entstehen. Die Kapazität liegt hier voraussichtlich bei etwa 120.000 t/a entwässertem Klärschlamm.

7.2.12.2 Verwertung von getrocknetem Klärschlamm (nach dem Stand der Technik)

Voraussetzung für die Verwertung von getrocknetem Klärschlamm ist die vorherige Entwässerung und Trocknung. Derzeit besteht im Landkreis Lichtenfels keine Klärschlamm-trocknung. Die Trocknungsanlage an der Kläranlage Lichtenfels wurde hier nicht berücksichtigt, da diese nicht in Betrieb ist. Wie in Kapitel 7.2.11 beschrieben, eignet sich aus energetischer Sicht ein Standort an einer Biogasanlage zum Bau einer Trocknungsanlage für den gesamten Klärschlamm des Landkreises Lichtenfels.

Wie aus Kapitel 7.2.12.1 bekannt ist, kann in der geplanten Klärschlammmonoverbrennungsanlage Schwandorf neben entwässertem auch getrockneter Klärschlamm verwertet werden. Zudem kann derzeit getrockneter Klärschlamm im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt (GKS) mitverbrannt werden. Dort soll ab spätestens 2029 eine Klärschlammmonoverbrennung für getrockneten Klärschlamm in Betrieb gehen. Hierfür wird eine derzeit bestehende Kohlelinie auf eine Klärschlammmonoverbrennungslinie umgebaut. Weitere Planungen zur Monoverbrennung von Klärschlamm gibt es derzeit nicht.

7.2.12.3 Alternative Verwertungsverfahren

Neben den Klärschlammverwertungsmöglichkeiten auf dem Stand der Technik gibt es zusätzlich alternative Möglichkeiten der Klärschlammverwertung. Hierbei wird der Klärschlamm nicht verbrannt und zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt, sondern daraus Produkte zur Weiterverwendung hergestellt. Ziel dabei ist, die je nach Technologieinsatz entstehenden Produkte am Standort zu nutzen. In Kapitel 7.2.7 wurde bereits eine Auswahl an alternativen Verfahren und deren Prozessbeschreibung mit den Ausgangsstoffen erläutert. In den kommenden Jahren könnten diese Technologien zur Verwertungssicherheit

des Klärschlammes beitragen, auch wenn sie aktuell noch nicht als Stand der Technik angesehen werden können. Voraussetzung für die Sicherung der Klärschlammverwertung dieser Verfahren ist die Weiterentwicklung vom Pilotstatus zu einem marktreifen Verfahren, um Klärschlamm im großtechnischen Maßstab verwerten zu können. Derzeit befinden sich die aufgeführten Verfahren noch in der Entwicklungsphase, haben aber das Potenzial zukünftig am Markt etabliert zu werden.

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

Zur Wasserstoffherstellung nutzt eine Anlage die Hydrolyse und Vergasung von Klärschlamm zur Erzeugung von Wasserstoff. Dieser könnte genutzt werden, um einen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Mobilität zu leisten. Außerdem könnte er zu einem gewissen Anteil in ein Erdgasnetz eingespeist werden, sofern am Anlagenstandort ein solches vorhanden ist. Ebenfalls möglich wäre der Vertrieb an ein Unternehmen mit Wasserstoffbedarf. Die im Prozess als Nebenprodukt entstehende Abwärme könnte in ein Wärmenetz eingespeist oder zur Faulturmbeheizung auf einer Kläranlage genutzt werden. Da es sich hierbei um regenerative Abwärme handelt, führt diese zu einer besseren CO₂-Bilanz und kann zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung beitragen. Auch im Hinblick auf die steigenden Energiepreise und die Klimaziele der Bundes- und Landesregierung würde mit der Abwärmenutzung ein positiver Beitrag geleistet werden.

In Pyrolyseanlagen entsteht aus dem Klärschlamm ein Karbonisat, welches mit Nährstoffen angereichert ist. Das Karbonisat ist theoretisch als Düngemittel einsetzbar. Laut einem Urteil des Verwaltungsgerichts Koblenz vom 25.11.2021 ist es als Düngemittel in Deutschland nicht zugelassen. Auch in der neuen europäischen Düngemittelverordnung ist das Karbonisat aus der Klärschlammpyrolyse nicht aufgeführt. Somit kann es derzeit nur als Ersatzbrennstoff in der Mitverbrennung eingesetzt werden. Neben dem Karbonisat entsteht im Prozess Abwärme, die den Herstellerangaben zufolge zur Trocknung des Klärschlammes in einem vorgeschalteten Trockner genutzt werden kann. Je nach Hersteller kann zusätzlich zur Trocknung noch Wärme ausgekoppelt und beispielsweise in ein Wärmenetz eingespeist werden. Voraussetzung ist wie bei der Wasserstoffherstellungsanlage ein vorhandenes Wärmenetz, da die Erschließung eines neuen Wärmenetzes mit hohem Aufwand verbunden

wäre. Auch hier könnte bei Wärmeauskopplung ein positiver Beitrag zum Erreichen der Klimaziele geleistet werden, sollte die Wärme in ein Wärmenetz eingespeist werden.

7.2.12.4 Festlegung der Szenarien im Konzept

Im Konzept werden folgende Verwertungsszenarien genauer hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Ökologie betrachtet. Dies soll als Entscheidungsgrundlage dienen, welchen Verwertungsweg die Kommunen im Landkreis Lichtenfels gehen können.

- Referenzszenario: Aktueller Verwertungsweg der Kommunen
- Szenario 1.1: Entwässerung und Verwertung in der Monoverbrennung Schwandorf
- Szenario 2.1: Entwässerung, Trocknung im Landkreis und Verwertung im GKS Schweinfurt
- Szenario 2.2: Entwässerung, Trocknung im MHKW Coburg und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt
- Szenario 3.1: Entwässerung und Verwertung in einer Wasserstofferzeugungsanlage
- Szenario 3.2: Entwässerung, Trocknung und Pyrolyse an Biogasanlage

7.2.13 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Folgenden sollen die einzelnen Szenarien wirtschaftlich bewertet und gegenübergestellt werden. Da es sich bei den alternativen Verwertungsmöglichkeiten um Verfahren handelt, die größtenteils noch in der Entwicklung sind, ist hier eine aussagekräftige Wirtschaftlichkeit noch nicht möglich. Es kann nur auf Basis der Herstellerangaben eine Grobprüfung dargestellt werden.

Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Szenarien soll in Form eines spezifischen Verwertungspreises abgebildet werden. Dafür wurden die Kosten für die einzelnen Behandlungsschritte ermittelt. Diese lassen sich in verschiedene Kostenblöcke aufteilen:

- Entwässerung
- Transport
- Trocknung
- Thermische Verwertung
- Entsorgung

7.2.13.1 Referenzszenario

Zum Vergleich der einzelnen Szenarien soll ein Referenzwert der Verwertungskosten gebildet werden. Dieser basiert auf den ermittelten durchschnittlichen Verwertungskosten der Kommunen. Im Rahmen dieses Konzeptes wurden die Kosten für die Verwertung des Klärschlammes der Jahre 2020 bis 2022 abgefragt. Von 7 Kläranlagen wurden entsprechende Kosten angegeben, wie Abbildung 71 zeigt. Im Allgemeinen können die gängigen Entsorgungskosten in die Bereiche Entwässerung, Verladung und Transport sowie Verwertung unterteilt werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den im gesamten Klärschlammkonzept dargestellten Kosten und Erlösen um **Nettobeträge** handelt.

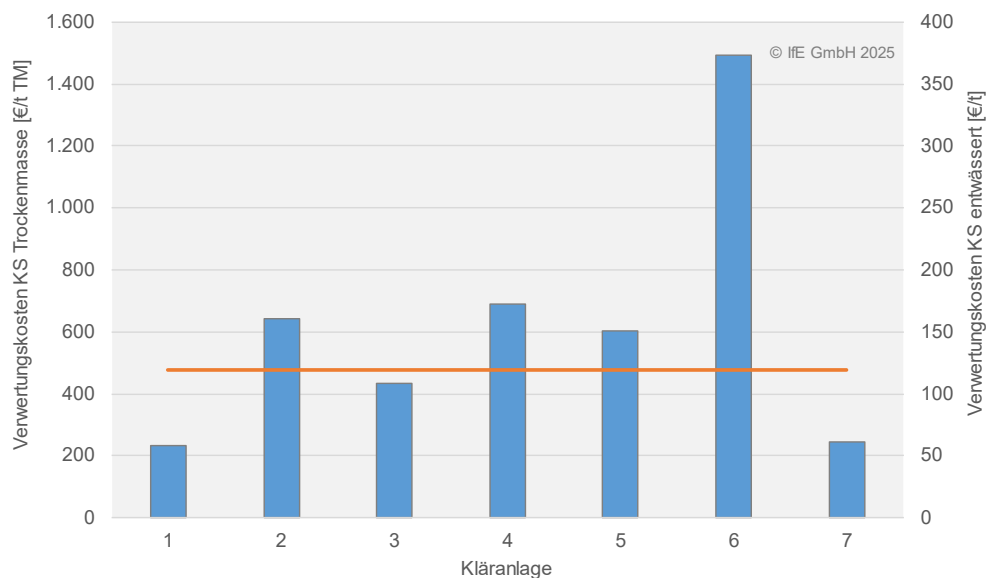


Abbildung 71: Verwertungspreise 2020 - 2022 in den betrachteten Kommunen

Das Diagramm (Abbildung 71) stellt die Klärschlammverwertungskosten inklusive Entwässerung (sofern vorhanden) und Transport dar. Die zum Teil deutlichen Unterschiede zwischen den Kläranlagen bzw. Kommunen können verschiedene Gründe haben. In der Regel ist davon auszugehen, dass günstigere Verwertungskosten bei landwirtschaftlicher Verwertung und im Falle von Langzeitverträgen zur Klärschlammverwertung vorliegen. Beide Formen der Verwertung werden in Zukunft nicht mehr oder nur eingeschränkt verfügbar sein. Der durchschnittliche Verwertungspreis je Tonne entwässertem Klärschlamm im Betrachtungszeitraum 2020 bis 2022 liegt nach der Datenerfassung bei ca. 120 €/t. Im

Vergleich der verschiedenen Anlagen zeigt sich, dass kleinere Anlagen i.d.R. deutlich höhere spezifische Klärschlammverwertungskosten zu verzeichnen haben, als größere Anlagen. Dabei spielen unterschiedliche Faktoren eine Rolle, wie z.B. Störstoffe im Klärschlamm und der Ausfällungsgrad. Auch der Mindermengenzuschlag bei der Entwässerung und der z. T. niedrige TS-Gehalt des Klärschlammes führt auf kleineren Anlagen ebenfalls zu höheren Kosten.

Im Referenzszenario wird der aktuelle Verwertungspreis für die unterschiedlichen Verwertungswege dargestellt. Je nach Kläranlage handelt es sich hierbei um die landwirtschaftliche Ausbringung sowie der thermischen Verwertung jeweils inklusive der Entwässerung.

7.2.13.2 Kostenbestandteile

Die Kosten für die **Entwässerung** weichen von Kläranlage zu Kläranlage ab, da die Gegebenheiten vor Ort, wie Schlammstabilisierung oder Art der Entwässerung unterschiedlich sind. Bei der Kostenbetrachtung werden mögliche individuelle Investitionen in Entwässerungsanlagen nicht mit dargestellt. Daher müssen im Einzelfall die Entwässerungskosten je Kommune und Kläranlage separat berechnet werden. Erfahrungsgemäß können vor allem an größeren Kläranlagen die stationären Entwässerungssysteme günstiger betrieben werden als an kleineren Anlagen. Der Betrieb eines eigenen mobilen Entwässerungsaggregats im Verbund mehrerer Kläranlagen kann größtenteils ebenfalls geringe spezifische Entwässerungskosten erzielen. Im Landkreis Lichtenfels werden überwiegend stationäre Entwässerungsaggregate betrieben, weshalb hier eine Zusammenarbeit nur bedingt möglich ist.

Die Kosten für den **Transport** zur Trocknung und Verwertung des Klärschlammes wurden auf Basis eines Logistikkonzeptes für die beteiligten Kommunen gebildet. Dabei wurden die Transportwege, sowie entsprechende Transportmengen des Klärschlammes bestimmt. In Abbildung 72 werden die gesamten jährlichen LKW-Strecken für die einzelnen Szenarien dargestellt. Eventuelle Kosten für den Transport zu einer Entwässerung an einer anderen Kläranlage wurden ebenfalls berücksichtigt.

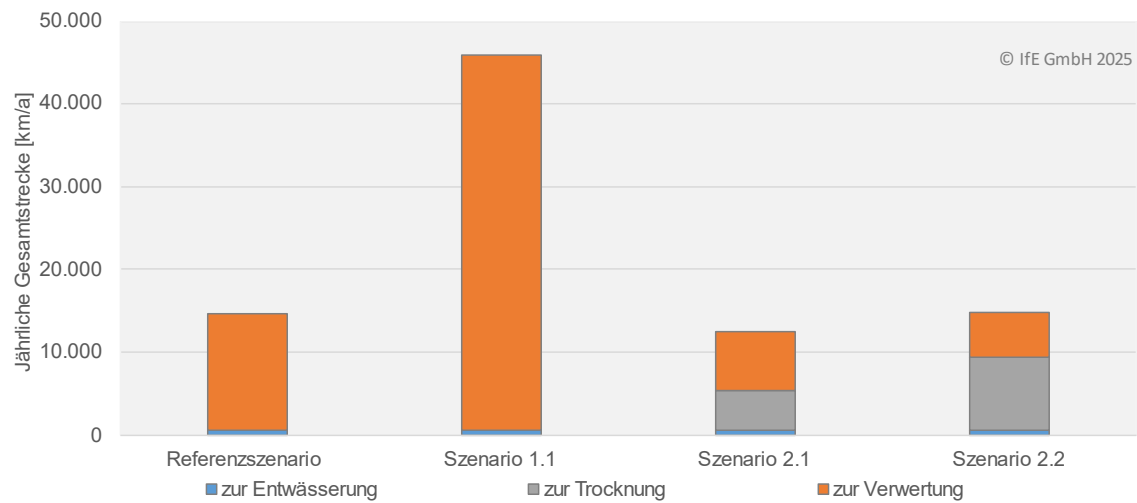


Abbildung 72: Jährliche Fahrtstrecken zur Klärschlammverwertung

Bei der Berechnung der notwendigen Transportstrecke wird überschlägig davon ausgegangen, dass die Transportkapazität einer LKW-Fuhre bei 20 Tonnen liegt. Als Vergleichswert wird im Referenzszenario die Verwertung je nach Verwertungsweg betrachtet. Dabei wird bei der landwirtschaftlichen Verwertung eine durchschnittliche Entfernung von 15 km angenommen, wobei Klärschlamm mit ca. 25 % TS transportiert wird. Wird Klärschlamm aktuell an eine andere Kläranlage geliefert wird die bekannte Transportstrecke in die Berechnung eingefügt. Bei der Verbringung des Klärschlammes im Landschaftsbau wurde ein TS-Gehalt von 25 % zugrunde gelegt, bei einer Transportentfernung von etwa 50 km. Für die thermische Verwertung wurde ebenfalls von entwässertem Klärschlamm ausgegangen, welcher an das MHKW Coburg geliefert wird. Hierfür wurde ebenfalls die tatsächliche Transportstrecke zugrunde gelegt. Dadurch ergibt sich eine jährliche Fahrstrecke von etwa 14.600 km.

Diese Strecke reduziert sich in den weiteren Szenarien zum Teil. Hier sind zum einen geringere Transportstrecken notwendig, zum anderen wird teilweise getrockneter Klärschlamm transportiert, welcher deutlich weniger Transportvolumen benötigt. In Szenario 1 wird angenommen, dass der entwässerte Klärschlamm zur geplanten Monoverbrennungsanlage in Schwandorf (Szenario 1.1) transportiert wird. Gegenüber dem Vergleichsszenario erhöht sich der Transportaufwand um mehr als das 3-fache. Das Szenario 2 sieht eine Trocknung vor der Verwertung im GKS Schweinfurt vor. Hierfür stehen die Trocknungsanlage im Landkreis (Szenario 2.1) sowie die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg (Szenario 2.2) als Potenziale zur Verfügung. Verglichen mit dem Referenzszenario, können im Szenario 2.1 ca. 15 % der Transportstrecke eingespart werden. Für das Szenario 2.2 ist ein Anstieg von knapp 1 % zum Referenzszenario zu verzeichnen.

Die Transportentfernungen werden in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Berechnung der Transportkosten herangezogen. Tabelle 8 fasst die spezifischen Transportkosten von Nassschlamm, entwässertem Schlamm und getrocknetem Schlamm zusammen, die für die Berechnungen angenommen wurden.

Tabelle 8: Kostenübersicht Klärschlammtransport 2018 [eigene Darstellung]

Transportpreis (netto) für unterschiedliche Transportentfernungen			
Zone	bis [km]	[t]	[€/t]
1	10	20	8,08
2	20	20	11,09
3	30	20	14,86
4	40	20	17,88
5	50	20	22,02
6	60	20	25,03
7	70	20	28,05
8	80	20	31,06
9	90	20	34,70
10	100	20	37,79
11	110	20	40,82
12	120	20	43,79
13	130	20	46,70
14	140	20	49,54
15	150	20	52,33
16	160	20	55,06
17	170	20	57,73
18	180	20	60,34
19	190	20	62,89
20	200	20	65,37
21	210	20	67,80
22	220	20	70,17
23	230	20	72,48
24	240	20	74,73
25	250	20	76,92
26	260	20	79,05
27	270	20	81,12
28	280	20	83,13
29	290	20	85,07
30	300	20	86,96

Im Szenario 2 wird die **Trocknung** des Klärschlammes betrachtet. Die künftigen Kosten und Bedingungen für dieses Szenario unterscheiden sich je nach vertraglicher Vereinbarung mit dem Betreiber und sind in den folgenden Grafiken zur Wirtschaftlichkeitsdarstellung nicht explizit dargestellt. Die Kosten für diese Trocknungsanlage basiert auf konkreten Richtpreisangeboten von Herstellern. Die in Punkt 7.2.5 beschriebenen Anlagen zur Klärschlamm-trocknung unterscheiden sich neben der Art der Trocknung auch hinsichtlich Energiebedarfe, Menge und Zusammensetzung von Abwasser sowie Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Im Rahmen dieses Konzeptes wird von einem Rotationstrockner ausgegangen. Dieser kann, im Vergleich zum solaren Trockner, einen Trockensubstanzgehalt von mindestens 90 % nach der Trocknung gewährleisten. Die Investitionskosten umfassen entsprechend unter anderem:

- Rotationstrockner (inkl. Fracht, Montage und Inbetriebnahme)
- Gebäude (inkl. Tragwerk, Gebäudehülle, Türen, Tore, Haustechnik und Betonarbeiten)

- Anlagenperipherie (inkl. Bunker, Bunkertechnik, Trockengutsilo, Installation Schalt- und Steuerungsanlage, Messtechnik, Biofilterwanne, Außenanlagen, wie z.B. Zaunanlagen und Parkflächen, Waage)
- Wärmeanbindung
- Nebenkosten für Planung und Genehmigung

Die Investitionskosten werden in diesem Konzept vom Anlagenbetreiber (Biogasanlagenbetreiber) getragen. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre bei einem Zinssatz von 3 %. Darüber hinaus werden die jährlichen Betriebskosten der Trocknung berechnet. Diese enthalten die Kosten für Wärme (0,03 €/kWh), Strom 0,30 €/kWh), Abwasser (3,82 €/m³), Personal (50.000 € pro Jahr und Person) sowie Wartung, Instandhaltung und sonstiger Betriebsmittel nach Herstellerangaben. Daraus ergeben sich in diesem Konzept für die Kommunen keine Investitionskosten bzw. jährlichen kapitalgebundenen Kosten. Die Kosten für die Klärschlamm-trocknung an einer Biogasanlage werden in Form von Dienstleistungskosten in €/t (25 % TS) bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt.

7.2.13.3 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im folgenden Kapitel werden die Verwertungsszenarien in einem wirtschaftlichen Vergleich gegenübergestellt. Dafür werden die spezifischen Klärschlammverwertungskosten ermittelt. Diese Kosten werden in spezifischen Verwertungskosten pro Jahr und pro Tonne entwässertem Klärschlamm dargestellt.

7.2.13.3.1 Klärschlammverwertungsmöglichkeiten auf dem Stand der Technik

Wie in Kapitel 7.2.12.1 und 7.2.12.2 beschrieben, können aktuell Trocknungsanlagen und die anschließende Klärschlammverwertung in einer Mono- oder Mitverbrennung als Stand der Technik betrachtet werden. In diesem Unterkapitel werden diese Anlagen wirtschaftlich betrachtet. Ebenso erfolgt eine grobe Wirtschaftlichkeitsprüfung der alternativen Verfahren.

In keinem der betrachteten Szenarien ist eine Investition in die Anlagentechnik zur Trocknung oder Verwertung des Klärschlammes notwendig. Die Trocknung des Klärschlammes erfolgt im Landkreis. Hier tätigt der Biogasanlagenbetreiber die Investition in die Trocknungsanlage und tritt somit als Dienstleister auf. Somit fallen für die Kommunen im Landkreis hierfür, wie auch für die Verwertung, nur Jährliche Kosten für Transport, Trocknung und Verwertung an.

Diese einzelnen Kostenpositionen können zu Jährlichen Kosten zusammengefasst werden. Die Entwässerung wird hier nicht mit betrachtet, da alle Kläranlagen ihren Klärschlamm bereits entwässern. In Abbildung 73 sind die Jährlichen Kosten, sowie die Spezifischen Kosten (€/t 25 % TS) für die Klärschlammentsorgung, je Verwertungsszenario dargestellt. Der Transport von Rohschlamm an eine größere Kläranlage zur Entwässerung ist hier ebenfalls mit eingerechnet. Die Jährlichen Kosten können in folgende Kostenpunkte unterteilt werden:

- Transport Rohschlamm
- Transport entwässerter Schlamm
- Trocknungskosten
- Transport getrockneter Schlamm
- Verwertungskosten

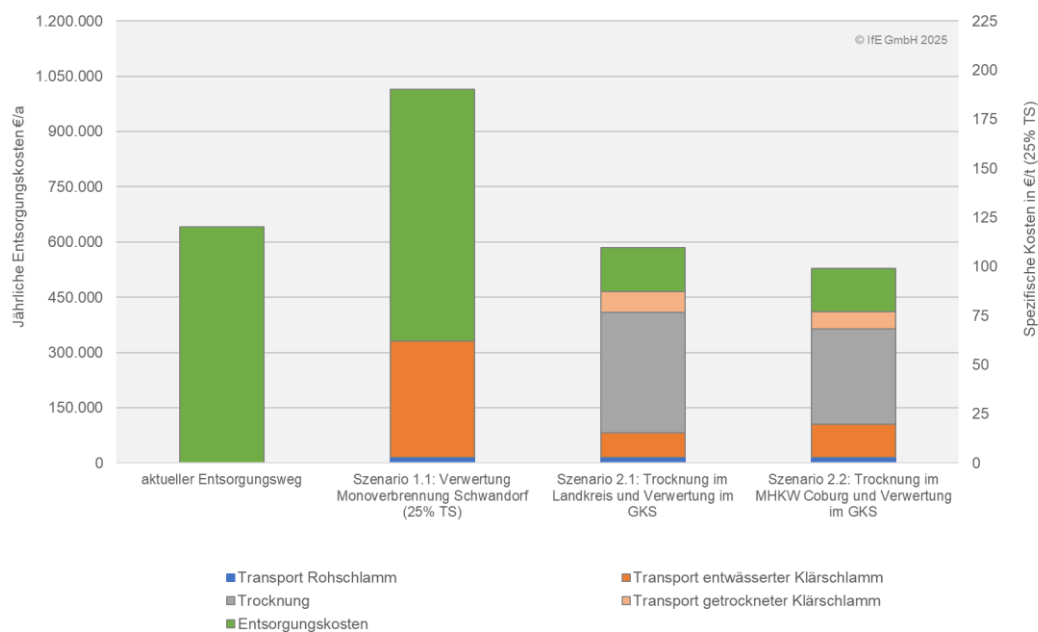


Abbildung 73: Jährliche und Spezifische Klärschlammverwertungskosten

Der Gesamtverwertungspreis der Referenzvariante (aktueller Entsorgungsweg) liegt bei rund 120 €/t (25 % TS). Diese Kosten basieren auf dem Mittelwert der einzelnen angegebenen Kosten der Kläranlagen. Hierbei sind je nach Verwertungsweg die Verwertungskosten inklusive Transport enthalten.

Durch die räumliche Nähe zur geplanten Klärschlamm Trocknung im MHKW Coburg mit anschließender Verwertung im GKS Schweinfurt (Szenario 2.2) liegen die Transportkosten für den entwässerten und getrockneten Klärschlamm etwas höher als die für den Transport an eine Biogasanlage (Trocknung) und anschließend zur Verwertung nach Schweinfurt (Szenario 2.1). Lediglich die Transportkosten nach Schwandorf in die Monoverbrennungsanlage im Szenario 1.1 fallen verglichen zu den anderen Szenarien höher aus, da entwässerter Klärschlamm transportiert wird und die Transportstrecke weiter ist.

In den Szenarien 2.1 und 2.2 kann aufgrund von Mengenreduktion durch Trocknung ein Großteil der Verwertungskosten eingespart werden. Dieser Einsparung stehen die Kosten für die Trocknung gegenüber. Die spezifischen Kosten für die Trocknung des Klärschlammes liegen bei gut 60 €/t (25 % TS). Die Kosten für die anschließende Verwertung des getrockneten Klärschlammes liegen etwa bei einem Drittel der Trocknungskosten. Somit kann von Gesamtkosten für Trocknung und Verwertung von etwa 85 €/t (25 % TS) in Szenario 2.1 ausgegangen werden. In Szenario 2.2 liegen die Trocknungskosten gut 10 % unter den Kosten in Szenario 2.1, da die Trocknungsanlage größer dimensioniert ist und somit geringere spezifische Kosten anfallen. Daraus resultieren Verwertungskosten inkl. Trocknung von etwa 70 €/t (25 % TS)

Für alle dargestellten spezifischen Verwertungspreise können sich Abweichungen zum berechneten Wert ergeben, wenn sich die jeweiligen angenommen Kosten und Parameter ändern. In Abbildung 73 werden die Einschätzungen dieser Preisschwankungen durch schwarze Pfeile dargestellt. Dabei ist die Referenzvariante abhängig von den aktuellen Verwertungspreisen über externe Dienstleister.

Das Szenario 2 unterliegt mehreren Einflussfaktoren. Diese sind im Wesentlichen die Investitionskosten und die Betriebskosten der Trocknungsanlage, welche sich auf den spezifischen Preis für die Kommunen auswirken. Eine mögliche Gewinnmarge eines privaten Betreibers ist in den Berechnungen für Szenario 2 nicht enthalten. Auch die Transport- und Verwertungskosten des getrockneten Klärschlammes unterliegen dem Marktgeschehen. Hier kann eine Preisstabilität durch langfristige Verträge mit den Klärschlammverwertern erreicht werden.

7.2.13.3.2 Betrachtung der Alternativen Verfahren zur Klärschlammverwertung

Zusätzlich zu den Varianten nach dem Stand der Technik wurden in diesem Konzept auch alternative Verfahren zur Verwertung des Klärschlammes betrachtet. Diese wurden bereits in Kapitel 7.2.7 genauer erläutert. Im Folgenden werden diese Verfahren aus Szenario 3 wirtschaftlich grob betrachtet. Hierbei gilt zu beachten, dass nur die Anlage ökonomisch betrachtet wurde. Investitionen in beispielsweise Grundstücke, Infrastruktur oder sonstige Periphere und Anlagentechnik wie Gasspeicherung werden nicht berücksichtigt.

Wasserstofferzeugung

Da es aktuell nur eine Wasserstofferzeugungsanlage gibt, die eine Demonstrationsanlage darstellt, kann nicht genau gesagt werden, welche Investitionskosten für die größeren Anlagen zukünftig angenommen werden können. Aktuell gibt es eine Demonstrationsanlage, zwei weitere Demonstrationsanlagen werden derzeit umgesetzt. Dabei handelt es sich um eine Anlage mit einem jährlichen Durchsatz von 1.200 Tonnen Klärschlamm mit ca. 30 % TS und eine Anlage mit 18.500 Tonnen (30 % TS). Diese Anlagen sollen die Technologie für größere Durchsätze verfügbar machen und den Dauerbetrieb der Anlage zeigen. Es bleibt abzuwarten, ob der Skale-up der Anlage funktioniert und diese wie geplant gebaut und betrieben werden können.

Im Rahmen dieses Konzeptes wurde als Beispiel eine Anlage mit einem Durchsatz von 1.200 Tonnen bei 30 % TS-Gehalt wirtschaftlich betrachtet. Diese Anlage wird zusätzlich zum Klärschlamm mit Grünschnitt oder Holzhackschnitzel betrieben, damit der benötigte TS-Gehalt von 30 % erreicht wird. Somit müssten hier etwa 880 t/a (25 % TS) Klärschlamm und zusätzlich ca. 130 t/a (40 % TS) Grünschnitt bzw. Hackschnitzel zugeführt werden. Die verwertbare Klärschlammmenge entspricht etwa 1/6 des gesamten Klärschlammes im Landkreis Lichtenfels.

In der nachstehenden Abbildung 74 sind die jährlichen Kosten, inklusive der kapitalgebundenen Kosten, sowie die Erlöse der Wasserstofferzeugungsanlage dargestellt. Die Werte beruhen auf den Angaben des Herstellers. Die zugrunde gelegten Parameter entsprechen der Auflistung am Ende von Kapitel 7.2.13.2. In die Kalkulation sind nur Kosten für die Anlage eingeflossen. Investitionen für Grundstücke, Wasserstofftankstellen oder Wasserstoffspeicherung, etc. kommen zusätzlich hinzu. Dies ist zu berücksichtigen, wenn

die Erträge im nachfolgenden Diagramm betrachtet werden. Die zusätzlichen Ausgaben verringern die Ertragsprognose.

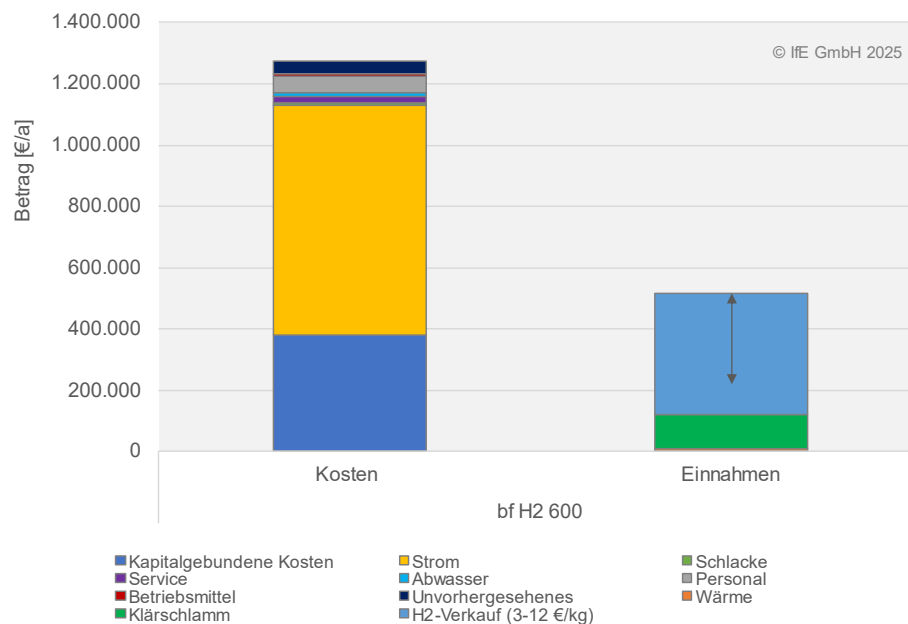


Abbildung 74: Kosten und Erlöse der Wasserstofferzeugungsanlage

Aus dem Diagramm (Abbildung 74) geht hervor, dass der Strombedarf und die daraus folgenden Stromkosten den größten Anteil an den jährlichen Kosten haben. Demgegenüber stehen die Erlöse aus dem Wasserstoffverkauf, welche den größten Einfluss auf die Einnahmen haben. Der graue Pfeil zeigt die Varianz des Erlöses aus der Wasserstoffvermarktung bei 3 bis 12 €/kg_{H₂}. Die Einsparung der Klärschlammverwertung kann je nach aktuellem Entsorgungspreis variieren. Hier wurden die aktuellen Verwertungskosten von ca. 120 € pro Tonne entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS angenommen. Der Erlös aus der Vermarktung der Abwärme nimmt eine untergeordnete Rolle bei der Wirtschaftlichkeit ein. Allerdings sollte die Abwärme genutzt werden, um ein schlüssiges Gesamtkonzept zu erhalten und diese nicht unnötig mithilfe eines Notkühlers auf Umgebungsluft Temperatur zu kühlen. Dies würde sich mit den Klimaschutzzielen der Bundes- und Landesregierung nicht vereinbaren lassen. Die Grafik zeigt, dass eine solche Anlage zum aktuellen Stand nicht wirtschaftlich umgesetzt werden kann.

Pyrolyse

Die Pyrolysetechnik ist eine etablierte Technologie, welche bislang vorwiegend zur Verwertung von Hackschnitzeln eingesetzt wurde. Inwieweit der Dauerbetrieb bei der Klärschlammpyrolyse realisierbar ist, ist nicht abzusehen. Derzeit gibt es keine Klärschlammpyrolyseanlage in Deutschland in Betrieb. Dies liegt daran, dass die Biokohle aktuell noch in der Mitverbrennung entsorgt werden muss und nicht als Düngemittel zugelassen ist.

Da es hier bereits Anlagen in diversen Baugrößen und auch verschiedene Hersteller am Markt gibt, sind die Investitionskosten besser kalkulierbar. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Pyrolyseanlage für die Verwertung des Klärschlammes der Kommunen im Landkreis wurden Kosten bei verschiedenen Herstellern angefragt. Ein Vergleich der jährlichen Kosten und Erlöse aus der Klärschlammpyrolyseanlage ist in Abbildung 75 dargestellt. Probleme könnte es je nach Klärschlammzusammensetzung geben. Diese ist auch ausschlaggebend für die Menge und Zusammensetzung der Betriebsmittel. Ebenso können die Kosten für Wartung und Service nicht konkret abgeschätzt werden. Kosten für ein Grundstück, Verkehrsflächen und ggf. Gebäude müssen zusätzlich berücksichtigt werden. Dies zeigt der schwarze Pfeil an.

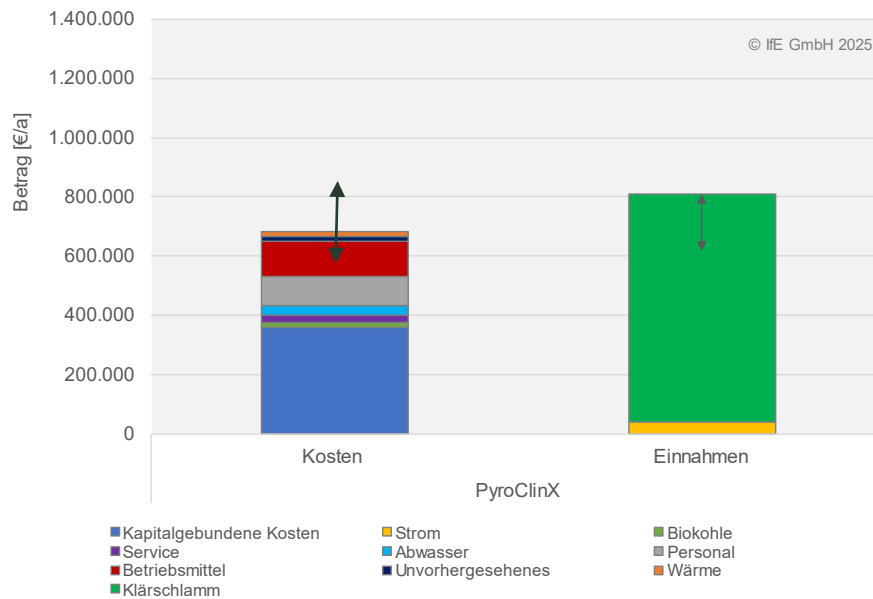


Abbildung 75: Kosten und Erlöse der Klärschlammpyrolyse

Es zeigt sich, dass die jährlichen Kosten im funktionierenden Betrieb durch die Einsparung der Klärschlammverwertung, die hier ebenfalls mit ca. 120 €/t entwässertem Klärschlamm angenommen wurden, gedeckt werden können und eine zusätzliche Einsparung stattfindet. Aufgrund geringer Erfahrungswerte in der Klärschlammpyrolyse kann derzeit nicht eingeschätzt werden, wie reibungslos die Anlage betrieben wird, was zusätzliche Kosten verursachen kann. Die Biokohle muss aufgrund des Koblenzer Gerichtsurteils verwertet werden, da diese nicht als Dünger zugelassen ist. Aktuell besteht für die Biokohle nur der Verwertungsweg in der Mitverbrennung als Ersatzbrennstoff. Diese zusätzlichen Kosten der Verwertung wurden von Pyrolyseherstellern mit etwa 50 €/t angegeben. In Abbildung 75 sind die damit verbundenen Kosten mit abgebildet.

Zusammenfassung

Im Vergleich von Wasserstoffherzeugungsanlage und Pyrolyseanlage gibt es bei beiden Varianten noch Unsicherheiten. Die Wasserstoffherzeugungsanlage kann aufgrund ihres Pilotprojektstatus noch keinen Dauerbetrieb vorweisen. Durch den Aufbau der geplanten Anlagen wird sich in den nächsten Jahren zeigen, ob die Technologie marktreif und die Vergrößerung der Anlagendurchsätze erfolgreich umsetzbar ist. Bei der Pyrolyseanlage stellt

das Karbonisat ein Problem dar, da es verwertet werden muss und nicht als Düngemittel eingesetzt werden darf. Zwar wurde das Karbonisat aus der Pyrolyse in die neue EU-Düngemittelverordnung aufgenommen, jedoch ist hier das aus der Klärschlammpyrolyse ausgenommen. Ob sich in den nächsten Jahren diesbezüglich Änderungen ergeben, muss abgewartet werden. Auch aufgrund der Ausgangslage, dass es derzeit keine Klärschlammpyrolyseanlage im Dauerbetrieb in Deutschland gibt, bleibt abzuwarten, ob dies so reibungslos funktionieren wird, wie die Hackschnitzelpyrolyse.

Zusätzlich zu den aufgeführten Kosten können noch Kosten für Grundstücke, Verkehrsflächen und eventuell notwendige Gebäude hinzukommen. Als Erlös kann noch die Vermarktung von Phosphor mit einfließen. Bei beiden Verfahren ist es möglich den Phosphor zurückzugewinnen und in der Düngemittelproduktion einzusetzen, sofern das durch die aktuell geltenden Gesetze zulässig ist. Da der Klärschlamm je Kommune etwas unterschiedliche Inhaltsstoffe und somit eine variierende Zusammensetzung hat, kann nicht abgeschätzt werden wie viel Phosphor zurückgewonnen werden kann und welche Erlöse durch die Vermarktung generiert werden können. Dies muss separat im Detail geprüft werden.

7.2.14 Ökologische Betrachtung

Als Grundlage für die politische Entscheidungsfindung sind nicht nur wirtschaftliche, sondern auch ökologische Aspekte zu betrachten. Nachfolgend werden die Treibhausgasemissionen für den Klärschlammtransport sowie das Treibhausgaseinsparpotenzial durch die Klärschlammfäulung und durch die Abwärmenutzung zur Klärschlamm Trocknung berechnet. Auch für die alternativen Verwertungsverfahren werden die Treibhausgaspotenziale bilanziert. Die Monoverbrennung des Klärschlammes wird nicht ökologisch betrachtet, da jede Anlage ein individuelles Anlagenkonzept hat. Somit kann keine Bilanz aufgestellt werden, da nicht auf interne Daten zugegriffen werden kann. Der Fokus aller Verwertungswege sollte auf der maximalen Wertschöpfung liegen. Das bedeutet, alle Produkte aus dem Verwertungsprozess werden genutzt oder weiterverarbeitet und Abwärme wird nicht ungenutzt auf Umgebungsluft Temperatur heruntergekühlt.

Neben einer Kosteneinsparung führt die Transportminderung auch zu einer Treibhausgaseinsparung. Als Berechnungsgrundlage wird angenommen, dass der spezifische Treibhausgasemissionsfaktor durch den Transport von Klärschlamm bei

687,5 gCO₂e/km liegt⁶. Eine LKW-Fracht entspricht einer Klärschlammmenge von 20 Tonnen. Zur Berechnung der Treibhausgasemissionen wird nur die Strecke der Anlieferung einbezogen. Eine Leerfahrt ist nicht berücksichtigt. Das Treibhausgaspotenzial reduziert sich linear mit der Transportentfernung.

In Abbildung 76 wird das Treibhausgaspotenzial je Szenario bezogen auf die Transportstrecke dargestellt. Die Emissionen für den Transport zu einer Kläranlage zur Entwässerung wurden hier ebenfalls berücksichtigt. Es ist ersichtlich, dass die Treibhausgasemissionen im Referenzszenario, also dem aktuellen Klärschlammverwertungsweg, annähernd denen im Szenario 2.1 und 2.2 entsprechen.

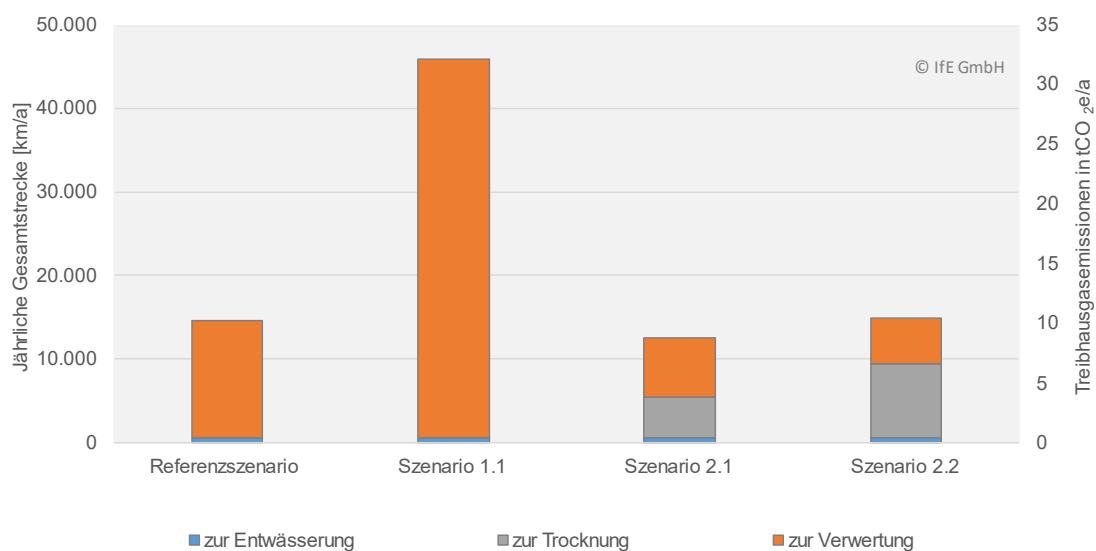


Abbildung 76: Treibhausgaseinsparpotenzial durch Klärschlammtransport

Des Weiteren zeigt die Grafik, dass der Verwertungsweg, in Szenario 1.1 nach Schwandorf, einen hohen Einfluss auf das Treibhausgaspotenzial hat. Durch den Transport von entwässertem Klärschlamm, welcher ein höheres Volumen als der getrocknete Klärschlamm aufweist, fallen die CO₂-Emissionen in den Szenarien 2.1 und 2.2 geringer aus als in Szenario 1.1. Die regionalen Verwertungswege in den Szenarien 2.1 und 2.2 zur Klärschlammverwertung haben einen geringeren CO₂e-Ausstoß zur Folge, verglichen zu Szenario 1.1, welches eine Verwertung weiter entfernt vom Landkreis Lichtenfels vorsieht. Die Einsparung von Treibhausgaspotenzial liegt im Szenario 2.1 bei knapp 1,5 tCO₂e/a im

⁶ Quelle: GEMIS-Datenbank, LKW-Diesel-40t-Zug-DE-2020-Basis

Vergleich zum Referenzszenario. Vergleicht man den aktuellen Verwertungsweg mit den Szenarien 1.1 und 2.2, werden etwa 21,5 bzw. 0,2 tCO₂e/a mehr ausgestoßen als im Referenzszenario.

Durch eine Klärschlammfaulung kann Strom und Wärme durch Klärgasnutzung in einem Blockheizkraftwerk erzeugt werden. Würde der erzeugte Strom über das Netz bezogen, kann ein Emissionsfaktor von 557 gCO₂e/kWh [40] herangezogen werden. Da die Wärme aus dem Klärgas-BHKW als regenerative Energiequelle ohne Emissionen zu sehen ist, kann ein Vergleich zur Wärmebereitstellung mittels Erdgaskessel mit Brennwertnutzung gezogen werden. So würde durch die Wärmeerzeugung aus Erdgas etwa 201 g/kWh an CO₂-Äquivalenten an die Atmosphäre abgegeben werden [40]. Diese Werte wurden für die Berechnung der Treibhausgaseinsparpotenziale im Folgenden herangezogen.

Aktuell wird in Lichtenfels und Burgkunstadt eine Klärschlammfaulung betrieben, wodurch ca. 390 tCO₂e jährlich eingespart werden. Wird in Bad Staffelstein eine Klärschlammfaulung errichtet, können etwa 310 tCO₂e/a zusätzlich eingespart werden. Liefern die Kläranlagen Redwitz und Weismain ihren Klärschlamm zur Ausfaulung nach Bad Staffelstein, könnten dadurch zusätzlich grob 240 tCO₂e/a eingespart werden. In Abbildung 77 sind diese zusätzlichen Treibhausgaseinsparungen in grau dargestellt. Kämen von der Kläranlage Ebensfeld auch Klärschlammlieferungen nach Bad Staffelstein, könnten etwa 120 tCO₂e/a an Treibhausgasen reduziert werden. Im Diagramm ist dies in orange dargestellt. Würde der gesamte anfallende Klärschlamm der Kommunen in eine Klärschlammfaulung gegeben werden, könnten jährlich theoretisch etwa 1.540 t CO₂-Äquivalente vermieden werden. Die theoretischen Treibhausgaseinsparungen sind in Abbildung 77 dargestellt.

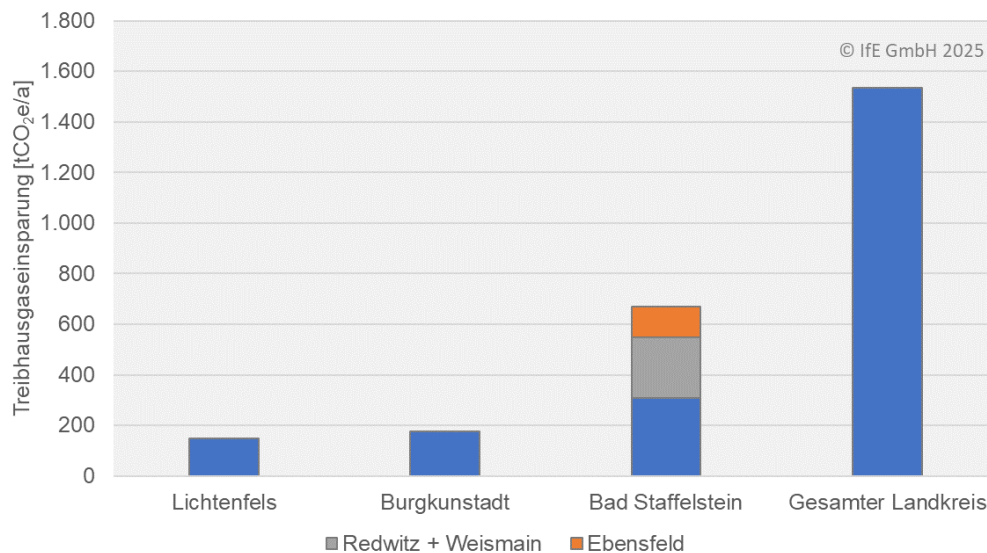


Abbildung 77: Einsparung von CO₂-Äquivalenten durch Klärschlammfaulung

Es zeigt sich, dass der Bau einer Faulung in Bad Staffelstein sinnvoll ist und dadurch ein positiver Beitrag zur angestrebten CO₂-Reduktion bzw. Neutralität geleistet werden kann. Voraussetzung ist die Nutzung des gesamten produzierten Stroms und der Wärme. Das tatsächliche Potenzial zur Klärgasproduktion und das damit verbundene Treibhausgaseinsparpotenzial ist abhängig von den Eigenschaften der jeweiligen Klärschlämme.

Vergleicht man die Treibhausgaseinsparpotenziale der Klärschlammfaulung der Kläranlage Lichtenfels mit den CO₂-Emissionen des Transportes der Referenzvariante, ergibt sich eine knapp 15-fache Einsparung durch die Faulung. Legt man die höchsten Emissionen für den Transport in Szenario 1.1 zugrunde und setzt diese in Relation zum Einsparpotenzial von CO₂e, ergibt sich ein Faktor von gut 4,5. Durch die Faulung der gesamten Klärschlammmenge der Kommunen lassen sich CO₂-Äquivalente um den Faktor knapp 155 bzw. 50, verglichen zu Referenzszenario und Szenario 1.1, einsparen.

Durch die Abwärmenutzung an der Biogasanlage durch eine Klärschlamm Trocknung können ebenfalls Treibhausgasemissionen vermieden werden. Hierzu kann, wie bei der Klärschlammfaulung, die Wärmebereitstellung durch einen Erdgaskessel gegenübergestellt werden. Würde die Trocknung des Klärschlammes nicht mittels Abwärme bewerkstelligt werden können, würden für die bereitzustellende Wärme aus Erdgas etwa 870 tCO₂e/a an die Atmosphäre abgegeben werden.

7.2.15 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Teil-Energienutzungsplan wurden verschiedene Wege zur energetischen Klärschlammverwertung aufgezeigt und bewertet. Die Datenerfassung bildet die Grundlage für die Betrachtung. Aus den vorliegenden Daten in Verbindung mit Vor-Ort-Terminen auf den Kläranlagen geht hervor, dass auf zwei Kläranlagen im Landkreis Lichtenfels eine Klärschlammfaulung mit Klärgasverstromung vorhanden ist. Die Auswertung ergab einen potenziellen Standort, an dem eine Faulung mit anschließender Klärgasverstromung sinnvoll wäre. Die daraus erzeugbare Strommenge liegt bei etwa 345.000 kWh pro Jahr. Die damit einhergehende Wärmeerzeugung beträgt knapp 590.000 kWh pro Jahr. Somit würden sich theoretisch jährlich ca. 310 tCO₂-Äquivalente einsparen lassen. Durch Klärschlamm-anlieferungen von weiteren Kläranlagen zur Klärschlammfaulung, könnten jährlich zusätzlich noch etwa 239.000 kWh Strom und 530.000 kWh Wärme erzeugt werden. Dies entspricht einer Einsparung von etwa 240 tCO₂e/a.

Der zweite Schritt der Klärschlammbehandlung ist die Entwässerung. Im Landkreis Lichtenfels liegen bereits knapp 100 % des Klärschlammes in entwässelter Form vor. Somit ist die Voraussetzung für die thermische Klärschlammverwertung, die Entwässerung des gesamten Klärschlammes, bereits erfüllt. Derzeit werden im Landkreis fünf stationäre Entwässerungsanlagen betrieben, an zwei weiteren Kläranlagen werden mobile Aggregate eingesetzt. Ziel ist es, den gesamten Klärschlamm des Landkreises in entwässert Form vorliegen zu haben. Damit dies umgesetzt werden kann, sollten, wie in Kapitel 7.2.10 beschrieben, Entwässerungscluster gebildet werden. Durch die interkommunale Zusammenarbeit kann eine ganzheitliche Entwässerung sichergestellt werden, auch an Kläranlagen, die selbst keine Entwässerung durchführen können. Dies wird im Landkreis Lichtenfels bereits an einer Kläranlage praktiziert.

Die anschließende Verwertung des Klärschlammes findet laut Datenerfassung derzeit zu knapp 15 % in der Landwirtschaft statt. In Zukunft wird dies durch die ab 2029 vorgeschriebene Phosphorrückgewinnung nur noch eingeschränkt möglich sein. Die Klärschlammverwertung sollte idealerweise durch interkommunale Zusammenarbeit erfolgen, weshalb hier zeitig Absprachen getroffen werden sollten. Hierfür bestehen mehrere mögliche Szenarien:

Durch einen Beitritt zum bestehenden Zweckverband ZTKS könnte der Klärschlamm in die geplante Monoverbrennungsanlage nach Schwandorf transportiert werden. Wie in den Kapiteln 7.2.13 und 7.2.14 beschrieben, fallen hier die höchsten Kosten und Treibhausgasemissionen an. Der organisatorische Aufwand für die Kommunen ist hier als gering einzustufen.

Die Verwertung von getrocknetem Klärschlamm setzt eine Trocknung nach der Entwässerung voraus.

Im Landkreis Lichtenfels besteht eine Klärschlamm-trocknung auf der Kläranlage Lichtenfels. Diese ist aktuell nicht in Betrieb und muss vor einer eventuellen Wiederaufnahme des Betriebs getestet werden. Dies ist für Sommer 2025 geplant. Da die tatsächliche Funktionstüchtigkeit dieses Trockners derzeit nicht abgeschätzt werden kann, wurde dieser im Konzept nicht weiter für die interkommunale Klärschlamm-trocknung betrachtet.

Beim Aufbau einer neuen Trocknungsanlage im Landkreis, sollte idealerweise nicht genutzte Abwärme aus Biogasanlagen oder Industrie und Gewerbe genutzt werden. Im Rahmen dieses ENPs wurde eine Biogasanlage als potenzieller Standort für eine Klärschlamm-trocknung ermittelt. Zur anschließenden Verwertung des getrockneten Klärschlammes wird eine Abstimmung mit dem Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt empfohlen. Dort wird Klärschlamm aktuell im Kraftwerk mitverbrannt. Bis voraussichtlich 2029 wird hier eine Kohlelinie auf Klärschlammmonoverbrennung inklusive Phosphorrückgewinnung umgestellt. Der organisatorische Aufwand ist hier ebenfalls als gering einzustufen. Zu beachten ist, dass Absprachen mit dem Biogasanlagenbetreiber, der die Trocknungsanlage baut, getroffen werden müssen. Außerdem muss die Genehmigung der Klärschlamm-trocknungsanlage durch die Kommunen unterstützt werden, damit das Projekt umgesetzt werden kann.

Eine alternative Trocknungsmöglichkeit soll am MHKW Coburg entstehen. Anschließend soll der Klärschlamm zur Verwertung nach Schweinfurt gebracht werden. Auch hier kann der Aufwand für die Organisation der Klärschlammverwertung als gering eingestuft werden. Die beiden Varianten mit Klärschlamm-trocknung im Landkreis oder in Coburg sind aufgrund der Regionalität und der prognostizierten Kosten positiv zu bewerten.

Alternative Verwertungsmöglichkeiten sind die Wasserstofferzeugung aus Klärschlamm sowie die Klärschlamm-pyrolyse. Das Karbonisat der Pyrolyse könnte als Düngemittel

eingesetzt werden, ist laut Urteil des Verwaltungsgerichts Koblenz aus dem Jahr 2021 aber nicht als Düngemittel zugelassen und muss in der Mitverbrennung entsorgt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Anlage kann derzeit nur schwer abgeschätzt werden, da aktuell keine Anlage in Deutschland in Betrieb ist. Hier kann weder auf Erfahrungswerte aus dem laufenden Betrieb noch auf die damit verbundenen Kosten zurückgegriffen werden. Bei der Umsetzung einer kommunalen Anlage im Landkreis Lichtenfels wird empfohlen, sich eng mit dem bestehenden Regionalwerk abzustimmen, um die Notwendigkeit bzw. Vor- und Nachteile eines interkommunalen Zusammenschlusses zu erörtern.

Die Wasserstofferzeugung aus Klärschlamm wurde im Konzept ebenfalls untersucht. Eine wirtschaftliche Umsetzung ist aktuell in der für den Landkreis Lichtenfels betrachteten Größenordnung nicht abzusehen.

Als weiteres Vorgehen werden folgende Schritte empfohlen. Zunächst sollten sich die Kommunen des Landkreises auf einen der beschriebenen gemeinsamen Verwertungswege einigen. Aus wirtschaftlicher Sicht kann die gemeinsame Klärschlammverwertung in Coburg oder die dezentrale Klärschlamm Trocknung im Landkreis empfohlen werden. Auf Basis von Herstellerangaben weist die Klärschlamm Pyrolyse eine ähnliche Wirtschaftlichkeit auf, was allerdings in der praktischen Umsetzung noch ausreichend bestätigt werden muss.

Zur politischen Entscheidungsfindung sind daher folgende Punkte zu berücksichtigen.

Für die Klärschlamm Trocknung in Coburg übernimmt der Zweckverband die Organisation der Klärschlammverwertung. Planungen dazu werden bereits vorangetrieben, wodurch die zeitnahe Umsetzung der gemeinsamen Klärschlammbehandlung möglich ist.

Im Vergleich dazu wird bei der Trocknung an der Biogasanlage im Landkreis regionale Abwärme im Landkreis genutzt, allerdings sind zur Umsetzung intensive Abstimmungen mit den Akteuren vor Ort notwendig. Bei diesem Weg würden sich die Landkreiskommunen für die Klärschlammverwertung nicht in einem größeren Zweckverband, sondern mit einem regionalen Betreiber abstimmen.

Eine vollständige Klärschlammverwertung im Landkreis Lichtenfels könnte künftig voraussichtlich durch eine Pyrolyseanlage gewährleistet werden, wobei es hierfür mit Klärschlamm als Einsatzstoff in Deutschland noch wenige Referenzanlagen gibt, was mögliche Unwägbarkeiten mit sich bringen kann.

Diese einzelnen Schritte zur interkommunalen Klärschlammverwertung können in einem Klimaschutznetzwerk weiter begleitet werden. Im Rahmen des Netzwerkes kann bei der weiteren Klärschlammverwertung unterstützt werden. Die Organisation der interkommunalen Zusammenarbeit kann ebenso über das Netzwerk begleitet werden.

7.3 Elektrolyse: Wasserstofferzeugung

7.3.1 Einleitung

Mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien, v. a. mit dem landesweiten Ziel, bis 2040 in allen Sektoren klimaneutral zu sein, muss zunehmend auf fluktuierende Energieträger gesetzt werden. Dafür müssen sowohl PV-Freiflächen- als auch Windkraftanlagen weiter ausgebaut werden. Vor allem mit dem Zubau an PV-Freiflächen liegen gerade in den Sommermonaten hohe Erzeugungslasten vor, welche die Stromnetzkomponenten stark belasten bzw. überlasten können. Dies liegt an einer hohen Einspeisung von elektrischer Energie gerade zu den Mittagszeiten. Zwei Möglichkeiten zur Reduzierung der anfallenden Lastspitzen sind die Drosselung der Erzeugungsanlagen sowie das Abschalten dieser. Eine weitere und zukünftig notwendige Möglichkeit zur Reduzierung der Lastspitzen sind die Errichtung von Speichern und die intelligente Verbindung der Sektoren Strom und Wärme mit den Verbrauchersektoren Haushalte, Industrie und Mobilität. Man spricht hier von der sog. Sektorkopplung.

Der Einsatz von Speichertechnologien bringt die Vorteile, dass zum einen Einspeiselastspitzen reduziert werden können und zum anderen die Nachfrage an elektrischer Energie während sog. Dunkelflauten gedeckt werden kann. Dies kann mittels Batteriespeicher (Kurzzeitspeicher) oder mittels Herstellung strombasierter Energieträger erfolgen. Hierbei handelt es sich zum Beispiel um sog. Power-to-Gas-Technologien (PtG). Mittels PtG über das Elektrolyseverfahren kann aus Wasser und elektrischer Energie Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt werden. Zudem fällt auch nutzbare Abwärme an. Der gasförmige Energieträger Wasserstoff kann im Anschluss wieder rückverstromt werden und somit Schwankungen im Stromnetz ausgleichen oder die Dekarbonisierung diverser Industrieprozesse vorantreiben.

Sowohl die Bundesregierung als auch das Land Bayern sehen in ihren Wasserstoffstrategien einen deutlichen Bedeutungszuwachs von Wasserstoff vor [41]. So soll ein sog. Wasserstoffkernnetz in Deutschland bzw. auf europäischer Ebene der European Hydrogen Backbone (EHB) für den gasförmigen Transport von Wasserstoff aufgebaut werden [41], [42]. Der genehmigte Verlauf des Kernnetzes in Deutschland mit Stand 22.10.2024 kann der Abbildung 78 entnommen werden. Das gesamte Leitungsnetz hat eine Länge von 9.040 km

und besteht zum Großteil aus umgestellten Erdgastransportleitungen (60 %). Die restlichen Abschnitte werden bis 2032 neu errichtet.



Abbildung 78: Genehmigter Verlauf des deutschen Wasserstoffkernnetz (Planungsstand: 22.10.2024) [42]

Wie aus dem Verlauf ersichtlich wird, liegt nicht jeder Landkreis in Bayern in räumlicher Nähe des Wasserstoffkernnetzes. Um dennoch die regionalen und überregionalen Wasserstoffbedarfe in Landkreisen ohne räumliche Nähe zum Kernnetz in den nächsten 10 bis 20 Jahre zu decken, sollte hier an eine regionale Wasserstofferzeugungs- und Verteilungsinfrastruktur gedacht werden. Dies haben auch die bayerischen Förderprogramme „Bayerische Förderung zum Aufbau einer Elektrolyse-Infrastruktur“ (BayFELI) sowie „Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur in Bayern“ zum Ziel. Die

Fördermöglichkeiten werden in den nachfolgenden Gliederungspunkten noch ausführlicher betrachtet.

Innerhalb dieses Schwerpunktprojekts soll die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette – ausgehend vom Strombezug und dessen Zusammensetzung, die Produktion von grünem Wasserstoff an einem geeigneten, möglichen Standort mittels Elektrolyse, die Wasserstoffspeicherung und der Wasserstofftransport sowie Wasserstoffnutzung – detailliert eruiert werden. Für die Elektrolyse-Standortfindung wird im Verlauf der Studie eine GIS-Potenzialflächenanalyse durchgeführt. Neben der ausführlichen Prüfung regulatorischer und technischer Aspekte spielt auch die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eine wichtige Rolle. Die Prüfung der Machbarkeit dient als Grundlage zur Beschaffung notwendiger Fördermittel zum Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur im Landkreis Lichtenfels.

Zu Beginn des Projekts wird daher eine umfassende Datenerhebung bei z.B. Energieversorgungsunternehmen, Industrie- und Gewerbebetrieben und Biogasanlagenbetreibern durchgeführt (vgl. Kapitel 3.1.2). Diese Datenbasis ist notwendig, um mögliche Wasserstoffabnehmer und damit auch den zukünftigen Wasserstoffbedarf, aber auch Abnehmer der Nebenprodukte Sauerstoff und Abwärme in der Region zu ermitteln und das sog. „Henne-Ei-Problem“ zu umgehen. Sauerstoff kann z. B. in einer belüfteten Kläranlage oder als Reaktant innerhalb einer sog. Oxyfuel-Verbrennung eingesetzt werden. Die Abwärme könnte über ein Wärmenetz an nahegelegene Haushalte geliefert werden. Somit hat die Nutzung der Nebenprodukte sowohl einen wesentlichen ökologischen als auch ökonomischen Einfluss auf das Gesamtkonzept und die Region.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Rahmenbedingungen, vor allem die rechtlichen Kriterien für die Produktion von grünem Wasserstoff, die Vorgehensweise im Projekt inkl. der Datenerfassung, allg. Standortfaktoren sowie die Erzeugungs- und Verteilungsszenarien von Wasserstoff mit anschließender Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dargestellt. Weiterhin gibt es eine Empfehlung für die weiteren Schritte nach der Machbarkeitsstudie.

7.3.2 Rahmenbedingungen

In den nachfolgenden Kapiteln werden zum einen die örtlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. die Lage des Landkreises in Bayern, die Lage des Landkreises zum geplanten Verlauf des Wasserstoffkernnetz analysiert und zum anderen auf die rechtlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Produktion von grünem Wasserstoff eingegangen.

7.3.2.1 Räumliche Einordnung

Der Landkreis Lichtenfels liegt im bayerischen Regierungsbezirk Oberfranken. Damit ist er einer der nördlichen Landkreise im Freistaat Bayern in der Nähe zu den Bundesländern Sachsen und Thüringen. Durch den Landkreis sowie die Stadt Lichtenfels fließt zudem der Main als eine der wichtigsten Schiffsrouten in Bayern. Westlich liegt in Reichweite der Landkreis Haßberge. Dort gibt es bereits einen Elektrolyseur, welcher seit 2016 Wasserstoff produziert. Die Region um den Landkreis herum besitzt damit auch schon erste und wichtige Erfahrungen im Umgang mit der Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff und bietet damit beste Voraussetzungen für den Aufbau einer weiteren Infrastruktur. Zur besseren Einordnung ist der Landkreis Lichtenfels in Abbildung 78 rot umrandet. In der Abbildung sind die geplanten Leitungsabschnitte bis 2032 dargestellt.

Es ist zu sehen, dass der Landkreis nicht direkt mit dem Verlauf des Kernnetz in Berührung kommt. Es ist daher wahrscheinlich, dass der Landkreis erst bis 2040 oder später mit leitungsgebundenem Wasserstoff versorgt wird. Darum ist es wichtig, wie eingangs schon erwähnt, den regionalen Wasserstoffhochlauf mit dezentraler Wasserstoffproduktion und straßengebundenem Transport in die Wege zu leiten.

7.3.2.2 Kriterien für die Produktion von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse

Die nachfolgende Definition bezieht sich auf erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs (RFNBOs) und lediglich auf Wasserstoff, der im Mobilitätssektor eingesetzt wird. Weiterhin muss nachgewiesen werden, dass die sog. RFNBOs über ihre gesamte Wertschöpfungskette inkl. Transport zur Tankstelle (z.B. grüner Wasserstoff) mind. 70 % der THG-Emissionen gegenüber der fossilen Referenz einsparen. Die Kriterien wurden auf EU-Ebene in einem sog. „Delegierten Rechtsakt“ im Rahmen der RED II formuliert und am 14.03.2024 in die 37. BImSchV (nationale Ebene) übernommen [43], [44].

Für den Fall, dass eine Direktleitung zwischen der RFNBO-Anlage (auch PtX-Anlage genannt) und der EE-Anlage existiert, gilt der Wasserstoff als erneuerbar, sofern die EE-Anlage nicht mehr als 36 Monate vor der RFNBO-Anlage in Betrieb genommen wurde und der Netzstrombezug der RFNBO-Anlage ausgeschlossen werden kann.

Für die Möglichkeit des Netzbezuges ergeben sich die folgenden vier Fälle:

7.3.2.2.1 Fall 1

Wasserstoff ist demnach erneuerbar hergestellt, wenn sich die Anlage in einer Gebotszone befindet, in der der durchschnittliche Anteil von Strom aus Erneuerbaren Energien im vorangegangenen Kalenderjahr über 90 % lag und die Erzeugung eine Höchstzahl von Stunden nicht überschreitet, die im Verhältnis zum Anteil von Strom aus Erneuerbaren Energien in der Gebotszone festgelegt wurde.

Sobald der durchschnittliche Anteil des Stroms aus Erneuerbaren Energien in einem Kalenderjahr 90 % übersteigt, gilt er auch in den folgenden fünf Kalenderjahren als höher als 90 %.

Die für den Landkreis Lichtenfels geltende Gebotszone ist die Zone Deutschland-Luxemburg; in dieser müssen nach der 37. BImSchV 90 % Erneuerbare Energien im Strommix enthalten sein, um ohne weitere Einschränkungen Netzstrom zu RFNBO zu verarbeiten.

7.3.2.2.2 Fall 2

Sind die in Fall 1 genannten Bedingungen nicht erfüllt, können Kraftstoffhersteller aus dem Netz entnommenen Strom als vollständig erneuerbar anrechnen, wenn die Anlage in einer Gebotszone liegt, in der die Emissionsintensität von Strom weniger als 18 g CO₂eq/MJ beträgt, sofern die folgenden Kriterien erfüllt sind:

- wenn ein PPA vorliegt, welcher den gesamten für erneuerbaren Wasserstoff verwendeten Strom bereitstellt
- wenn die Bedingungen für die zeitliche und geografische Korrelation gemäß den Artikeln 6 und 7 des delegierten Rechtsaktes erfüllt sind

Die Emissionsintensität von Strom wird nach Artikel 28 Abs. 5 der Richtlinie (EU) 2018/2001 berechnet. Sobald die Emissionsintensität von Strom in einem Kalenderjahr unter 18 g CO₂eq/MJ liegt, gilt die durchschnittliche Emissionsintensität von Strom auch in den folgenden fünf Kalenderjahren als unter 18 g CO₂eq/MJ liegend.

Diese Erleichterung ermöglicht es, RFNBO in Gebotszonen mit geringem EE-Anteil und zugleich geringen spezifischen Emissionen herzustellen. Dies ist insbesondere in Gebotszonen relevant, welche von „emissionsneutralem“ Strom aus Kernkraftwerken geprägt sind.

7.3.2.2.3 Fall 3

Aus dem Netz entnommene Elektrizität kann ebenfalls als vollständig erneuerbar angerechnet werden, wenn diese während eines Ausgleichszeitraums verbraucht wird, in dem der Erzeuger des Kraftstoffs auf der Grundlage von Nachweisen des nationalen Übertragungsnetzbetreibers beweisen kann, dass:

- Stromerzeugungsanlagen, die erneuerbare Energiequellen nutzen, gemäß Artikel 13 der Verordnung (EU) 2019/943 nach unten „redispatched“ wurden
- der für die Erzeugung von Wasserstoff verbrauchte Strom den Bedarf an Redispatching in entsprechendem Umfang verringert hat

7.3.2.2.4 Fall 4

Aus dem Netz entnommener Strom kann als vollständig erneuerbar angerechnet werden, wenn er die Bedingungen der Zusätzlichkeit, der zeitlichen und der geografischen Korrelation gemäß den Artikeln 5, 6 und 7 des delegierten Rechtsakts erfüllt.

Zusätzlichkeit:

Eigene EE-Anlage oder PPA mit der entsprechenden Strommenge,

- Die frühestens 36 Monate vor der PtX Anlage in Betrieb genommen wurde
- Wenn die EE-Anlage keine Förderungen in Form von Betriebs- oder Investitionsbeihilfen erhalten hat (es existieren gewisse Ausnahmen)

Hinweis: RFNBO-Anlagen, die vor 2028 in Betrieb genommen werden, sind bis 31.12.2037 von den Auflagen in Bezug auf die Zusätzlichkeit ausgenommen. So wird gewährleistet, dass Elektrolyseure auch mit EE-Bestandsanlagen Wasserstoff produzieren können, sofern der Strom über PPA bezogen wird.

Zeitliche Korrelation:

- Bis Ende 2029: wenn Wasserstoff im selben Kalendermonat hergestellt wird wie der dafür verwendete Strom (direkt genutzt oder im selben Kalendermonat eingespeichert)
- Ab Anfang 2030: Zeithorizont wird auf eine Stunde verkürzt

- Zeitliche Korrelation gilt als immer erfüllt, wenn der Clearingpreis für Elektrizität unter 20 €/MWh oder niedriger als das 0,36-fache des CO₂-Zertifikatspreises liegt

Damit wird sichergestellt, dass sich kein fossiler Strom im Netz befindet oder ausschließlich fossiler Strom, der keinesfalls zur Deckung der Grenzkosten des fossilen Kraftwerks beiträgt und demnach unwirtschaftlich vermarktet wird (Stichwort „Merit-Order-Effekt“).

Geografische Korrelation:

- PtX-Anlage mit PPA liegt in gleicher Gebotszone wie die EE-Anlage
- EE-Anlage kann auch in einer zusammenhängenden Gebotszone liegen, wenn die Strompreise größer als oder gleich hoch sind wie diejenigen in der Gebotszone der PtX-Anlage
- Offshore-Anlagen, die im Rahmen eines PPA den Strom an eine mit der Offshore-Zone verbundene Gebotszone an Land, in welcher die PtX Anlage steht, liefern

Abbildung 79 stellt einen Entscheidungsbaum dar, in dem alle Prüfschritte korrekt aufeinander aufbauend abgefragt werden. Dieser ermöglicht eine individuelle Einschätzung zum erzeugten Wasserstoff im konkreten Fall bzw. Projekt.

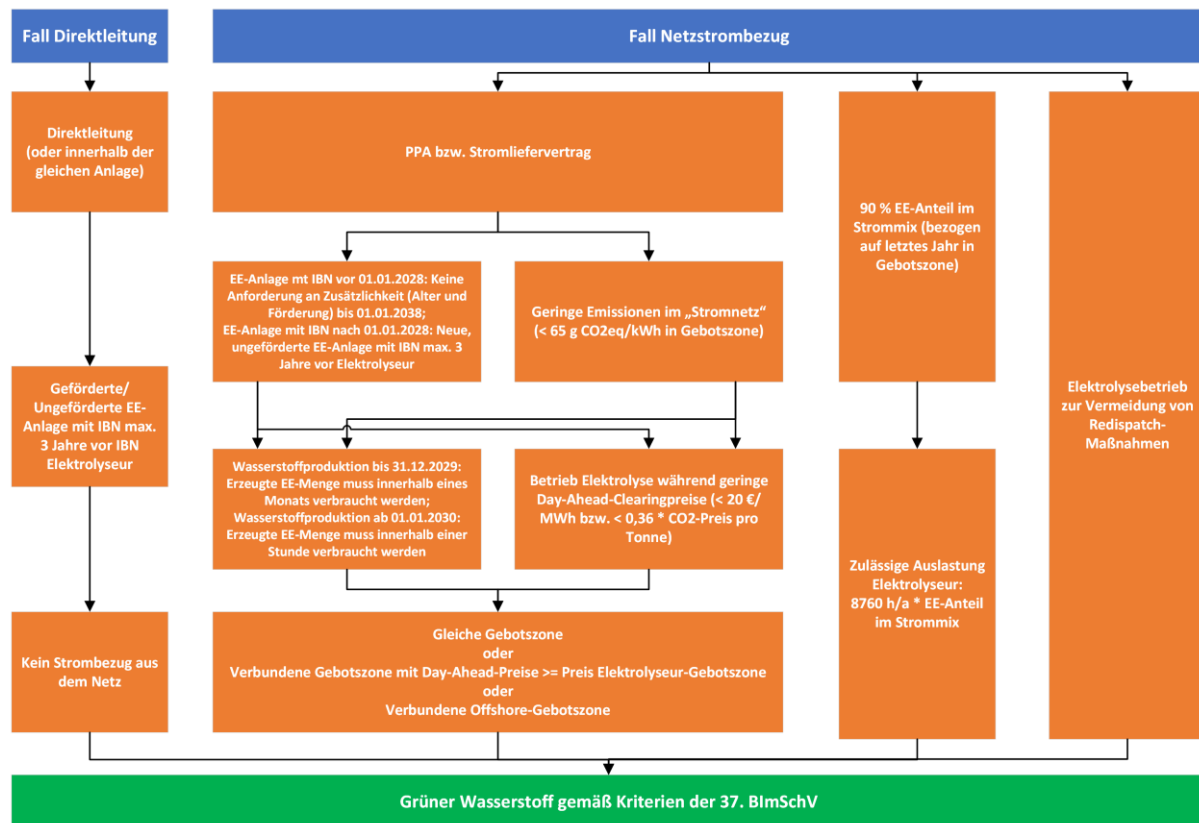


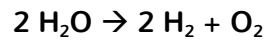
Abbildung 79: Kriterien für die Erzeugung von grünem Wasserstoff gemäß des delegierten Rechtsakts der RED II und der 37. BImSchV.

7.3.2.3 Technische Rahmenbedingungen

Nachdem nun die Standortvoraussetzungen und die rechtlichen Rahmenbedingungen ausführlich erläutert wurden, beschreibt dieses Kapitel die technischen Rahmenbedingungen. Darunter fallen die am Markt verfügbaren Technologien der Wasserelektrolyse, die Speicher- und Transporttechnologien sowie die möglichen (zukünftigen) relevanten Nutzungs- bzw. Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff. Als einer der Bausteine dieses Gliederungspunkts dienen die eigens verfassten Kapitel 4.3 und 4.4 aus [45].

7.3.2.3.1 Wasserstoff aus Elektrolyse

Die Elektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie zur Erzeugung von Wasserstoff als sauberem und vielseitig einsetzbarem Energieträger. Das Grundprinzip der Wasser-Elektrolyse ist die Aufspaltung von Wasser (H_2O) in die beiden Moleküle Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) gemäß der chemischen Reaktionsgleichung [46]:



Neben einer Stromquelle sind außerdem ein Transformator und Gleichrichter notwendig. Zusätzlich wird in den meisten Fällen eine Wasseraufbereitung, welche das Leitungswasser z. B. von störenden Salz-Ionen befreit, sowie eine Gastrocknung benötigt. Eine Gastrocknung sorgt dafür, dass der erzeugte Wasserstoff und Sauerstoff frei von Feuchtigkeit sind. Verschiedene Elektrolysetechnologien wurden entwickelt, um den steigenden Anforderungen an Effizienz, Kostenreduktion und Flexibilität gerecht zu werden. Es gibt mehrere Elektrolysearten, welche serienreif auf dem Markt verfügbar sind. Das sind u. a. die alkalische Elektrolyse (AEL), Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM), Anion Exchange Membrane Elektrolyse (AEM) und Hochtemperatur Festoxid-Elektrolyse (SOEC).

In dieser Studie wird ausschließlich die PEM-Elektrolysetechnologie betrachtet. Die Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM) ist eine fortschrittliche Technologie zur Wasserstoffproduktion. PEM-Elektrolysesysteme nutzen eine Protonenaustauschmembran, die den Transport von Protonen ermöglicht, während sie den Elektronenfluss blockiert. Insbesondere für dezentrale Anwendungen und erneuerbare Energiequellen mit variabler Leistungserzeugung bieten PEM-Elektrolyseure viele Vorteile, deren Effizienz typischerweise im Bereich von 70 – 80 % liegt [47]. In der Praxis erfordert die PEM-Technologie regelmäßige Überwachung und Wartung, da nur so die optimale Leistung der Membran und anderer Komponenten sichergestellt werden kann. Insbesondere die Membran ist eine teure und filigrane Komponente, der aufgrund ihrer Anfälligkeit für Degradation besondere Beachtung geschenkt werden muss. In der folgenden Abbildung 80 ist ein 1,25-MW-PEM-Elektrolyseur von Siemens (links im Bild) im realen Betrieb dargestellt, betrieben vom Stadtwerk Haßfurt in Unterfranken.



Abbildung 80: 1,25 MW_{el} PEM-Elektrolyseur (links) mit Wasseraufbereitung (rechts) beim realen Betrieb in der Stadt Haßfurt [48]

Dieser Elektrolyseur liefert bis zu 225 Nm³ H₂/h aus Überschussstrom Erneuerbarer Energien. Rechts im Bild ist eine Wasseraufbereitung zu sehen, die das verwendete Leitungswasser vollständig entsalzt, denn diese Wasser-Aufbereitung ist für den störungsfreien Betrieb der gesamten Anlage unabdingbar.

7.3.2.3.2 Wasserstoff aus Abwasser und biogenen Reststoffen

Neben der klassischen Elektrolyse, bei der Wasserstoff durch die Spaltung von Wasser mittels elektrischer Energie gewonnen wird, gibt es auch alternative Methoden zur Wasserstofferzeugung. Eine vielversprechende Möglichkeit ist die Nutzung von Biomasse, die organisches Material wie Pflanzenreste oder Abfälle umfasst. Je nach Technologie können neben der Biomasse auch andere Edukte wie Klärschlamm, Autoreifen oder Holzabfälle eingesetzt werden. Für den Landkreis Lichtenfels sind vor allem die Technologien, bei welchen Wasserstoff als Produkt entsteht, interessant. Im Rahmen des Energienutzungsplanes werden im nachfolgenden die Technologien kurz beschrieben, welche bereits Anlagen in der Pilotphase haben. Es werden daher die Plasmalyse, die blueFLUX-Technologie und die BtX-Technologie dargestellt und grob bewertet.

Die Plasmalyse-Technologie stellt eine innovative Methode zur Wasserstofferzeugung dar, bei der organische und anorganische Verbindungen in Abwässern, Schlämmen und anderen industriellen Reststoffen genutzt werden. Diese Technologie nutzt ein Plasma, um chemische Bindungen zu brechen und Wasserstoff sowie andere Gase zu erzeugen. Ein führendes Unternehmen in diesem Bereich ist Graforce, das Container-Kläranlagen mit einer Jet-Loop-Technologie zur NH_4 -Aufkonzentrierung und einer Plasmalyse-Technologie anbietet. Diese Anlagen ermöglichen die effiziente Reinigung und Umwandlung von industriellen, gewerblichen und kommunalen Abwässern. [49]

Das blueflux-Verfahren beinhaltet drei Prozessschritte zur Verwertung der Biomasse und der Herstellung von Wasserstoff, die Hydrolyse, die Vergasung und die anschließende Wassergas-Shift Reaktion. Die biogenen Stoffe (Klärschlamm, Gülle, Mist, Industrieabfälle, Bioabfall) werden durch Hydrolyse in festen Kohlenstoff und Wasserdampf abgetrennt. Der ideale Trockensubstanzgehalt der Eingangsstoffe liegt bei 30 – 40 %. Zur Erhöhung der Trockensubstanz können beispielsweise Hackschnitzel oder Grünschnitt beigemischt werden. Anschließend werden die beiden Komponenten in den Flugstromvergaser gegeben, wobei sich durch eine chemische Reaktion der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff des Wasserdampfes verbindet. Das dabei entstehende Synthesegas enthält Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Bei der Wassergas-Shift-Reaktion reagiert das Kohlenmonoxid mit Wasser zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff, wodurch eine Steigerung der H_2 Ausbeute erzielt wird. Als Reststoff bleiben 1,5 % vom Input als Schlacke übrig, die entsorgt werden muss. [50]

Die Technologie der BtX Energy basiert auf dem Reforming von Biogas. Das bei Biogasanlagen oder Vergärungsanlagen entstehende Biogas wird hier im ersten Schritt mit Hilfe eines Gasfilters von den Störstoffen befreit. Im zweiten Schritt wird aus Kohlendioxid und Methan in einem Reformer mit Wassergas-Shift-Reaktion Wasserstoff und Kohlenmonoxid erzeugt. Der Wasserstoff wird dann mittels Druckwechseladsorption aus dem Synthesegas separiert. Derzeit existiert eine Pilot-Anlage in Krefeld, welche zertifizierten Wasserstoff für Mobilitätszwecke erzeugt. [51], [52]

Nachfolgende Tabelle 9 zeigt einen Überblick der Technologien dar:

Tabelle 9: Übersicht der alternativen Erzeugungstechnologien.

	Plasmalyse	blueFLUX	BtX Energy
Entwicklungsstand	1 Pilotanlage auf der Kläranlage Berlin Waßmannsdorf	2 Pilotanlagen im Aufbau im Lkr. Weilheim-Schongau	1 Pilotanlage in Krefeld in Betrieb
Notwendiger Input	1 kg NH ₄ -N Konzentration pro m ³ Schmutzwasser Kleinste Anlage: 3 m ³ /h	1.200 t/a Biomasse (30 % TS)	10 m ³ Biogas für 1 kg H ₂
H₂ Output (Angaben Hersteller)	214 t _{H₂} /a bei 1.218 t _{NH₃} /a	33 t _{H₂} /a (unterschiedlich je nach Input)	1 kg _{H₂} 10 m ³ Biogas
Spezifischer Wasserstoffoutput	0,17 t _{H₂} / t _{NH₃}	0,03 t _{H₂} /t Input	0,00010 t _{H₂} / m ³ Biogas

7.3.2.3.3 Wasserstofftransport und -Speicherung

Ein weiterer Baustein des Schwerpunktprojekts Wasserstoff innerhalb des vorliegenden ENPs ist die Analyse möglicher Verteilungswege von grünem Wasserstoff in der Region. Die Anlieferung per Trailer stellt in der Regel die kostenintensivste Variante dar. Da die Anlieferung aktuell mit dieselbetriebenen LKW erfolgt, ist mit einer Preissteigerung der Lieferkosten zu rechnen, die sich dann auf den Wasserstoffabnahmepreis auswirken werden. Allerdings könnte der regionale Hochlauf von grünem Wasserstoff per Trailer erfolgen, insofern er nicht am Ort der Erzeugung benötigt wird. Für einen kostengünstigen Transport größerer Mengen Wasserstoff, die nur bedingt regional erzeugt werden können, ist der leitungsgebundene Transport geeignet. Aktuell kann dies über die Beimischung in das Erdgasnetz oder in neu errichtete Wasserstoff-Leitungen erfolgen.

Welche dieser Möglichkeiten verwendet wird, hängt von mehreren individuellen Faktoren ab, wie z. B.:

- Entfernung der Erzeugungsanlagen und Verbraucher

- Vorhandensein der nötigen Infrastruktur wie (Erdgas-)Leitungen
- Transportkosten
- benötigte Reinheit des Wasserstoffs u. a.

Wie eingangs erwähnt, wird bis 2032 schrittweise das sog. Wasserstoffkernnetz aufgebaut. Da das Kernnetz nach aktuellem Stand allerdings nicht unmittelbar durch den Landkreis Lichtenfels verläuft, werden vorerst Trailer-Transporte notwendig sein, um den produzierten Wasserstoff an den Nutzungsort (z. B. Tankstelle, Industrie etc.) zu transportieren. Bei Wasserstofftrailer handelt es sich in der Regel um mehrere Druckflaschen vom Typ 1 (Stahlflasche) bis 4 (Behälter aus Kunststoff und faserverstärkten Verbundwerkstoffen), welche auf einem LKW-Auflieger befestigt sind. Diese können je nach Typ mit unterschiedlichen Druckniveaus befüllt werden und demnach unterschiedliche Mengen an Wasserstoff fassen. Typ-4-Behälter haben gegenüber den klassischen Stahlflaschen ein geringeres Gewicht und ein höheres Fassungsvermögen, da Wasserstoff bei hohem Druck bis zu 500 bar bzw. im PKW oder LKW bis zu 750 bar gespeichert und transportiert werden kann [53]. Diese Behälter befinden sich gebündelt in 20 bzw. 40-Fuß-Containern und werden als „Multi-Element-Gas-Container“ (MEGC) bezeichnet [53]. Bekannt ist hier das Konzept der Fa. Hydrospider AG. Das System besteht aus mobilen Wasserstoffspeichern, welche mit bis zu 450 bar (entspricht ca. 440 kg) Wasserstoff befüllt werden können [54].



Abbildung 81: Abfüllstation mit Logistikkomponenten für die Wasserstoffproduktion und Auslieferung [54]

Wie in Abbildung 81 zu sehen ist, können die befüllten Container mittels Standardauflieger via LKW an den Ort der Verwendung gebracht werden. Nötig sind hierzu „Dockingstations“ und Wechselbrücken am Be- und Entladestandort.

7.3.2.3.4 Wasserstoffnutzung

Die Anwendungsgebiete von Wasserstoff sind vielfältig. Als vorerst wichtigste Anwendungsfelder sind die stoffliche und energetische Nutzung in Industriebereichen, welche nur bedingt oder nicht anderweitig dekarbonisierbar sind, anzusehen. Das sind z. B. die Chemie- und Stahlindustrie, aber auch Glas- und Keramikhersteller, welche hohe Prozesstemperaturen benötigen [41]. Aber auch im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) könnte zukünftig Wasserstoff eingesetzt werden. Aus Wasserstoff kann z. B. mittels Brennstoffzelle oder Verbrennungsmotor über KWK sowohl elektrische als auch thermische Energie gewonnen werden. Ein solches Aggregat zeigt die folgende Abbildung 82.



Abbildung 82: Wasserstoffverbrennungsmotor (Wasserstoff-BHKW).

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet ist Wasserstoff in der Mobilität, v. a. in der Schwerlastmobilität. Dazu zählen z. B. Langstrecken-LKW, Flugzeuge und die Schifffahrt. Da diese Bereiche derzeit nur bedingt auf Elektroantriebe umgerüstet werden können, soll hier Wasserstoff z. B. in mobilen Brennstoffzellen in den Fahrzeugen rückverstromt werden und damit einen Elektromotor oder eine Batterie mit elektrischer Energie versorgen. Daneben

spielen auch die sog. E-Fuels eine große Rolle, synthetisch hergestellt aus Strom und Wasserstoff. Auf langfristige Sicht kann Wasserstoff auch zur Beheizung von Wohngebäuden und als Energieträger in Gaskraftwerken als Spitzenlasterzeuger eingesetzt werden. [41]

7.3.3 Förderprogramme

Nach aktuellem Stand gibt es eine Vielzahl an Förderungsmöglichkeiten im Bereich des Wasserstoffs, sowohl für Kommunen als auch für Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Hierzu zählen die Erzeugung, Verteilung, aber auch Beschaffung von wasserstoffbetriebenen Nutz- und Sonderfahrzeugen sowie von Fahrzeugen für den öffentlichen Personennahverkehr. Im Nachfolgenden werden die wichtigsten Förderinstrumente auf bayerischer Ebene kurz vorgestellt. Eine vollständige Übersicht ist auf der Webseite der Landesagentur für Energie und Klimaschutz unter [55] zu finden. Diese Übersicht wird stetig aktualisiert und an aktuelle Rahmenbedingungen angepasst.

7.3.3.1 Bayerische Förderung zum Aufbau einer Elektrolyse-Infrastruktur (BayFELI)

BayFELI soll den Hochlauf von dezentralen Elektrolyseuren in Bayern, welche ausschließlich erneuerbaren Wasserstoff produzieren, vorantreiben. Die Elektrolyseure können z. B. mit Strom aus PV, Windkraft, Wasserkraft oder Geothermiekraftwerken betrieben werden. Projektträger ist das VDI TZ (www.vditz.de/bayfeli). Die maximale Fördersumme pro Projekt beträgt 5 Mio. €. Gefördert werden damit Elektrolyseanlagen mit einer Mindestleistung von 1 MW (Anschlussleistung). Die Förderquote beläuft sich auf 45 % der zuwendungsfähigen Ausgaben, welche je nach Unternehmensgröße um bis zu 20 Prozentpunkte auf 65 % der zuwendungsfähigen Ausgaben erhöht werden kann. Des Weiteren muss ein vollständiges Konzept vorliegen. Das Antragsverfahren läuft zweistufig ab. In der ersten Stufe muss eine Projektskizze mit einem vollständigen und umfangreichen Wasserstoffkonzept mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Region vorliegen. Die Skizzen werden vom Projektträger mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren (die Summe der Gewichtung aller Faktoren ergibt 100 %) priorisiert und bewertet:

1. Fördereffizienz: erwartete Wasserstoffproduktion/Fördervolumen in kg H₂/€
2. Wirtschaftlichkeit und Geschäftsmodell: Angaben zu Ausgaben, Einnahmen, Finanzierung, Abnahmekonzept und Kostenplan

3. Nachhaltigkeit: Konzept über Strom- und Wasserbezug sowie Zubau von weiteren EE-Anlagen
4. Regionale Verwendung des Wasserstoffs: erzeugungsnahe Eigen- und/oder Fremdnutzung
5. Vorliegen einer Machbarkeitsstudie: Angaben zum Planungsstand, zeitnahe Umsetzung möglich und Machbarkeitsstudie

Sobald eine Skizze in die zweite Antragsstufe gelangt, muss ein Vollantrag mit Daten zur Finanzierung sowie mit Vergleichsangeboten für die förderfähigen Investitionskosten eingereicht werden. Die Förderrichtlinie tritt am 31.12.2026 außer Kraft. [56]

7.3.3.2 Bundesförderprogramm Industrie und Klimaschutz

Das Bundesförderprogramm Industrie und Klimaschutz (BIK) unterstützt die Industrie und Abfallwirtschaft bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen. So sollen 40 Mio. t CO₂-Äquivalente bis 2045 eingespart werden. Insgesamt stehen bis 2030 ca. 3,3 Milliarden Euro zur Verfügung. Antragsberechtigt sind Unternehmen, die Anlagen planen oder betreiben, sowie Konsortien, wobei der Zuwendungsempfänger eine Betriebsstätte in Deutschland haben und das Vorhaben in Deutschland umgesetzt werden muss. Das Förderprogramm gliedert sich in zwei Fördermodule. Modul 1 zielt dabei auf die Dekarbonisierung von Produktionsprozessen ab (Reduktion der direkten Emissionen um min. 40 %). Die Abscheidung und anschließende Speicherung/Nutzung von *schwer* vermeidbaren CO₂-Emissionen wird über das Modul 2 gefördert. In beiden Modulen werden sowohl Investitionsvorhaben in Bestands- und Neuanlagen als auch Innovationsvorhaben (Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bzw. Durchführbarkeitsstudien) gefördert. Der Energieträger Wasserstoff wird im BIK gesondert berücksichtigt. Vorhaben zur Nutzung oder Produktion von Wasserstoff werden nur gefördert, wenn dieser aus der Elektrolyse von Wasser mit erneuerbarem Strom stammt, wobei Anlagen zur Erzeugung oder -speicherung des Stroms im Modul 1 nicht Bestandteil der Förderung ist. Werden im Modul 1 die THG-Emissionen durch den Bau von sogenannter *gewidmeter Infrastruktur* (vorab festgelegte kleine Nutzergruppe) für Wasserstoff reduziert, so sind die Kosten für Infrastruktur und Speicher mit einer Förderintensität von 100 % bis zu einem Fördervolumen von max. 25 Mio. EUR förderfähig. [57]

7.3.3.3 Klimaschutzverträge

Klimaschutzverträge (KSV) sind ein zentrales Instrument zur Förderung klimafreundlicher Technologien und Produktionsumstellungen, insbesondere in der energieintensiven Industrie. Die Bundesregierung fördert ausgewählte Projekte über einen Zeitraum von 15 Jahren, indem Sie die Mehrkosten für klimafreundliche Anlagen gegenüber einer definierten Referenzanlage übernimmt. Sobald sich die über die Klimaschutzverträge geförderten Anlagen innerhalb der Vertragslaufzeit ohne weitere Fördermittel wirtschaftlich betreiben lassen, zahlen die Unternehmen Geld an die Bundesregierung zurück. Die KSV funktionieren über ein Gebotsverfahren, bei dem Unternehmen den Preis pro eingesparter Tonne CO₂ pro Tonne hergestelltem Produkt kalkulieren und anbieten. Diese Projekte zeichnen sich durch einen hohen Innovationsgrad aus, da sie in der jeweiligen Branche noch nicht in diesem Stil umgesetzt wurden. Auch die Fördereffizienz (Gebotspreis pro eingesparter Tonne CO₂) ist dabei ein wichtiges Vergabekriterium. Je niedriger der Gebotspreis pro eingesparter Tonne CO₂, desto höher die Zuschlagswahrscheinlichkeit. Das Verfahren dient somit auch dem Aufzeigen von technischen Möglichkeiten und Wegweisern für die Zukunft. Dabei spielt auch die Umstellung bestehender Industrieanlagen auf grünen Wasserstoff eine wichtige Rolle. Die Erzeugung von Wasserstoff ist jedoch nicht Teil der Förderrichtlinie. Weitere Informationen sind unter [58] zu finden.

7.3.4 Vorgehen innerhalb des Wasserstoffkonzepts

7.3.4.1 Datengrundlage und Datenquellen

Um ein fundiertes regionales Wasserstoffkonzept zu entwickeln und im Rahmen des ENP zu prüfen, bedarf es einer qualitativ hochwertigen Datenbasis. Hierzu wurden im Laufe des Projekts mehrere Datenerhebungen durchgeführt. Die Datenquellen werden im Nachfolgenden kurz dargestellt:

- Energieatlas Bayern:
 - Standorte der aktuellen EE-Anlagen im Landkreis
 - Standorte der Kläranlagen Stufe 4 und 5
 - Standorte der bestehenden Wärmenetze im Landkreis
- Standorte der Bestandstankstellen (konventionell, CNG, LNG und Wasserstoff)
- Verlauf der Buslinien im Landkreis/Verkehrskonzept

- Datensammlung zu ehemals geplanten Wasserstoffprojekten im Landkreis und der Stadt Lichtenfels
- Verkehrsknotenpunkte, wie Bundesstraßen, Autobahnen und Autobahnkreuze
- Standorte relevanter Umspannwerke im Landkreis
- ENP-GIS-Karte des Landkreises Lichtenfels

Weiterhin wurde mit den Auftraggebern vereinbart, eine Datenerhebungen mittels Fragebögen in der Region bei den ansässigen Gewerbe- und Industriebetrieben durchzuführen:

- Online-Datenerhebung zum Thema „Energetische Infrastruktur bei den Unternehmen und deren potenzieller Wasserstoffbedarf“: Die Umfrage wurde im Landkreis durchgeführt. Ziel dieser Datenerfassung ist es, mögliche Wasserstoffabnehmer in und außerhalb der Region zu ermitteln und einen möglichen zukünftigen Wasserstoffbedarf im Bereich der stofflichen und energetischen Nutzung zu beziffern. Die Umfrage wurde online und in Papierform durchgeführt.

Die Daten der Datenerhebungsbögen fließen in die GIS-Karte zur Identifikation möglicher Wasserstoff-Versorgungsstrukturen mit ein. Diese Daten werden zunächst georeferenziert, um sie als sog. Punktlayer in der GIS-Karte darstellen zu können.

7.3.4.2 Methodik der GIS-Analyse

Im Rahmen des ENPs wird eine GIS-basierte Potenzialflächenanalyse zur Ermittlung möglicher Flächen für den Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft durchgeführt. In diese Analyse fließen die unter Punkt 7.3.4 genannten Daten ein. Des Weiteren werden zusätzlich Geodaten aus dem Kapitel 4.4 herangezogen. Bei den für die Analyse herangezogenen Daten handelt es sich um sog. Up- und Downstream-Faktoren. Die Upstream-Komponenten enthalten alle relevanten Bausteine, welche für den technischen Betrieb einer Wasserstofferzeugungsanlage notwendig sind. Das sind z.B. EE-Anlagen (im Bestand und Potenziale) für die Bereitstellung der elektrischen Energie, aber auch die Wasserverfügbarkeit. Die Downstream-Faktoren beinhalten dagegen Komponenten für die Verteilung der Elektrolyseprodukte.

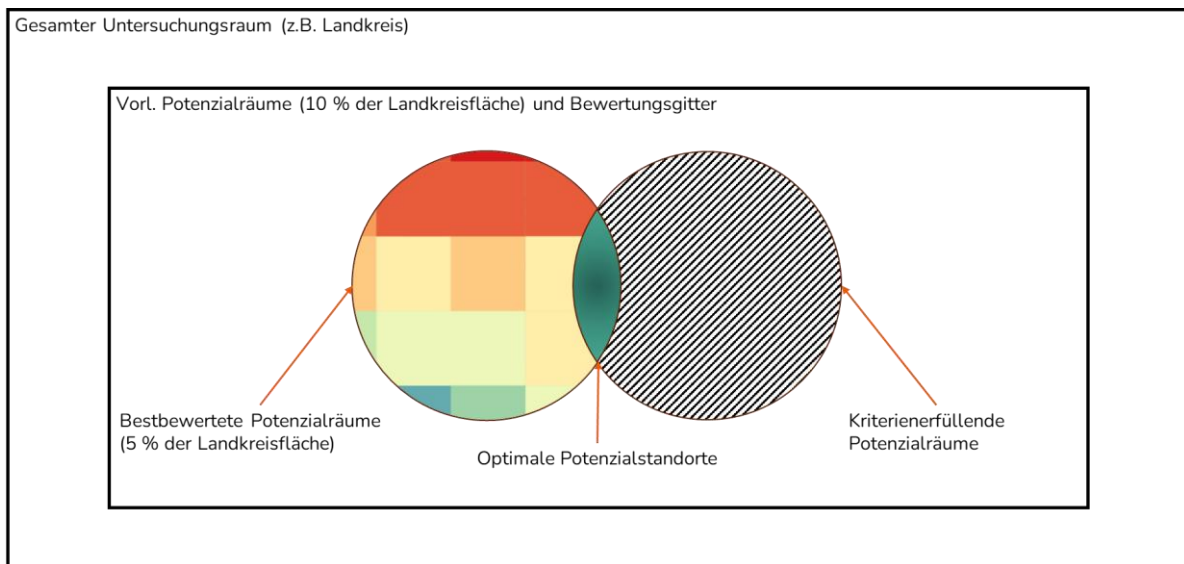


Abbildung 83: Betrachtungsraum der GIS-basierten Wasserstoffanalyse für den Landkreis Lichtenfels.

Abbildung 83 zeigt den Betrachtungsraum und stellt das systematische Vorgehen der GIS-Analyse dar. Es wird zunächst die gesamte Landkreisfläche herangezogen. Aus der gesamten Landkreisfläche werden die sog. vorläufigen Potenzialräume, welche eine hohe Dichte an „Points of Interest“ (POI) bzw. Standortfaktoren aufweisen, ausgewiesen. Dabei bildet jeder als Punkt dargestellte POI eine Fläche aus. Je mehr POI (=hohe POI-Dichte) in einem bestimmten Raum vorhanden sind, desto kleiner werden die davon ausgehenden Flächen. Die kleinsten ausgebildeten Flächen werden aufsummiert und zusammengefasst bis 10 % der Landkreisflächen als Potenzialräume abgebildet werden. Die vorläufigen Potenzialräume werden mit gebildeten Bewertungsgitter, welches durch eine Kriterien- und Bewertungsmatrix aus den Up- und Downstream-Faktoren erzeugt wird, verschnitten. Von den verschnittenen Flächen werden sämtliche Restriktionsgebiete abgezogen. Daraufhin ergeben sich die bestbewerteten Potenzialräume, welche max. 5 % der Landkreisfläche sind (vgl. linker Kreis in der Abbildung). Es handelt sich dabei um Potenzialräume mit sehr guten infrastrukturellen Bedingungen. Neben der Ausweisung der bestbewerteten Potenzialräume erfolgt die Ausweisung von kriterienerfüllenden Potenzialräumen (vgl. rechter Kreis in der Abbildung), welche z.B. Wasserstoffbedarfe und EE-Potenziale für Elektrolyseure oder Wasserstoffbedarfe für Mobilitätsanwendung und Bestandstankstellen für Wasserstofftankstellen in direkter Umgebung aufweisen. Die Schnittmengen der bestbewerteten Potenzialräume mit den kriterienerfüllenden Potenzialräumen ergeben die optimalen Potenzialräume für Elektrolyseure.

7.3.5 Potenziale und Ergebnisse

Dieses Kapitel geht auf die ermittelten Potenziale und die Ergebnisse der durchgeführten Machbarkeitsstudie für den Aufbau einer lokalen Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis ein. Dabei werden die folgenden Komponenten der Wasserstoffwertschöpfungskette beleuchtet:

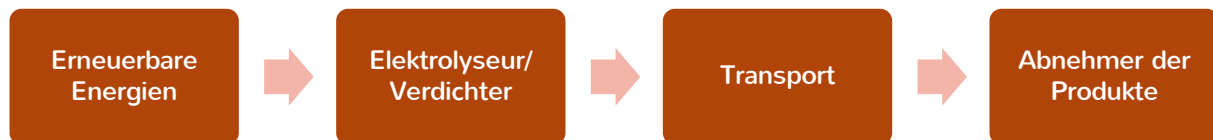


Abbildung 84: Vereinfachte Darstellung des betrachteten Systems.

Für das Konzept wurden zunächst die möglichen Abnehmer von Wasserstoff, aber auch Abwärme der Elektrolyse sowie Sauerstoff identifiziert. Im nächsten Schritt wurde eine GIS-basierte Standortanalyse anhand einer Bewertungs- und Kriterienmatrix durchgeführt. Auf Basis der Standorte und dem Wasserstoffbedarf wurden Szenarien für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft im Landkreis erstellt, welche auch ein Logistikkonzept beinhalten. Anhand des Standorts sowie des Wasserstoffbedarfs wurde die vorläufige Dimensionierung von Wasserstofferzeugungsanlagen mit dem jeweiligen Strombezug durchgeführt. Daraus ergibt sich eine Wasserstoffbilanz für den Landkreis, welche die Über- oder Unterdeckung des zukünftigen Wasserstoffbedarfs aufzeigt. Daraus resultieren die notwendigen Im- oder Exporte von Wasserstoff in bzw. aus der Region.

Auf Basis dieser Bilanz werden Hochlaufszzenarien von Wasserstoff abgebildet, welche wiederum die Basis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Berechnung zukünftiger Wasserstoffgestehungskosten und Kosten für Wasserstoff an Tankstellen sind.

7.3.5.1 Ermittlung der Wasserstoffpotenzialräume im Landkreis

Nachfolgend werden die Ergebnisse der GIS-basierten Potenzialflächenanalyse dargestellt. Neben den zuvor verorteten Daten aus Kapitel 4.3.3 werden weitere verfügbare Daten herangezogen und verortet. Ein Auszug der weiteren Daten ist dem Kapitel 7.3.4 zu entnehmen. Die genannten Faktoren wurden im Anschluss gebündelt als POI in GIS

übertragen. Die relevanten POI für den Landkreis Lichtenfels können der nachfolgenden Abbildung 85 entnommen werden.

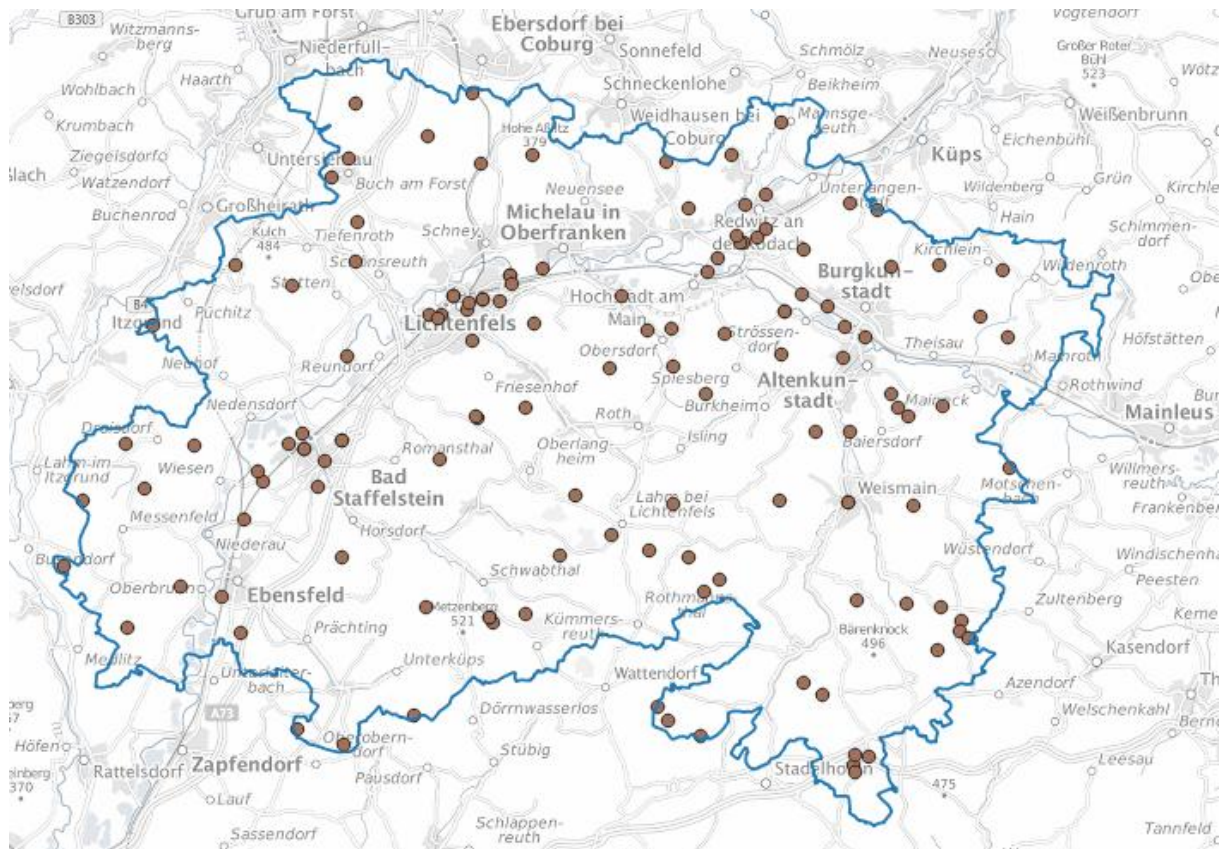


Abbildung 85: POI für die GIS-basierte Standortanalyse.

Bei Betrachtung der Karte wird ersichtlich, dass es Häufungen von POI im süd-östlichen Landkreis gibt, gerade im Umfeld der Städte Bad Staffelstein, Lichtenfels und Burgkunstadt.

Auf Basis der POI folgt gemäß der Methodik aus Kapitel 7.3.4.2 das landkreisweite Bewertungsgitter. Dafür werden die einzelnen POI im Landkreis bewertet. Die Bewertungen der einzelnen POI werden in das Bewertungsgitter mit einem Raster von je 1 km x 1 km überführt. Naturschutz- und Wohngebiete und Gebiete mit militärischer Nutzung wurden dabei schon entfernt. Die in Rot eingezeichneten Gitter enthalten POI mit einer in Summe hohen Bewertung. Die rot markierten Zonen weisen damit POI mit einer hohen Relevanz für den Aufbau einer Wasserstofferzeugung bzw. -Infrastruktur auf. Dagegen weisen, wie aus der Legende hervorgeht, blau markierte Zonen POI mit einer eher geringen Relevanz auf. Für den Landkreis Lichtenfels ist zu sehen, dass gerade im Osten und im Süden sehr gute POI vorhanden sind.

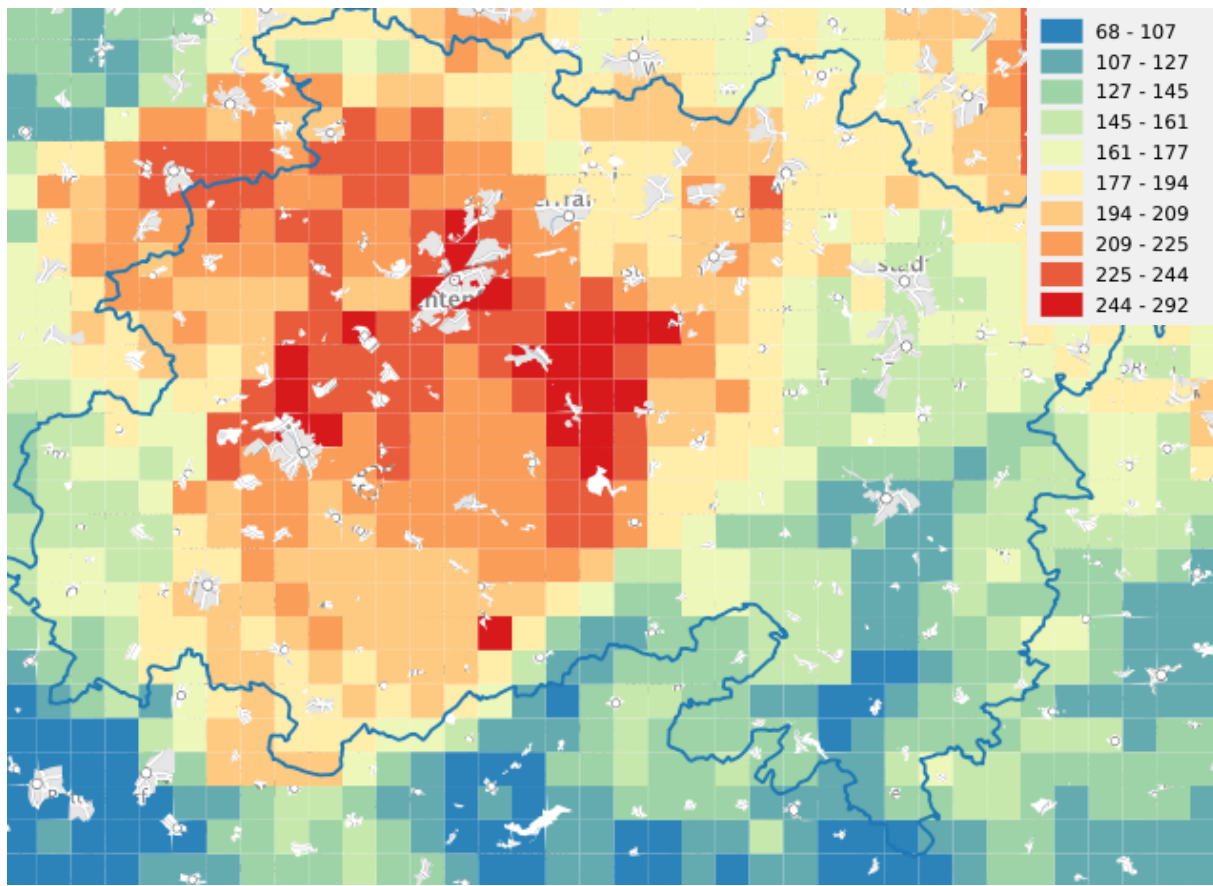


Abbildung 86: Finales Bewertungsgitter für den Landkreis Lichtenfels.

Nach der Bildung des Bewertungsgitters erfolgt die Flächenbildung. Dabei bildet jeder dargestellte POI eine Fläche aus. Je mehr POI in einem bestimmten Raum vorhanden sind, desto kleiner werden die davon ausgehenden Flächen, bis sie auf die Flächen weiterer POI treffen. Die kleinsten ausgebildeten Flächen werden aufsummiert und zusammengefasst bis 10 % der Landkreisflächen als Potenzialräume abgebildet werden. Hierbei handelt es sich um die sog. vorläufigen Potenzialräume gemäß Schritt 3 aus Gliederungspunkt 7.3.4.2.

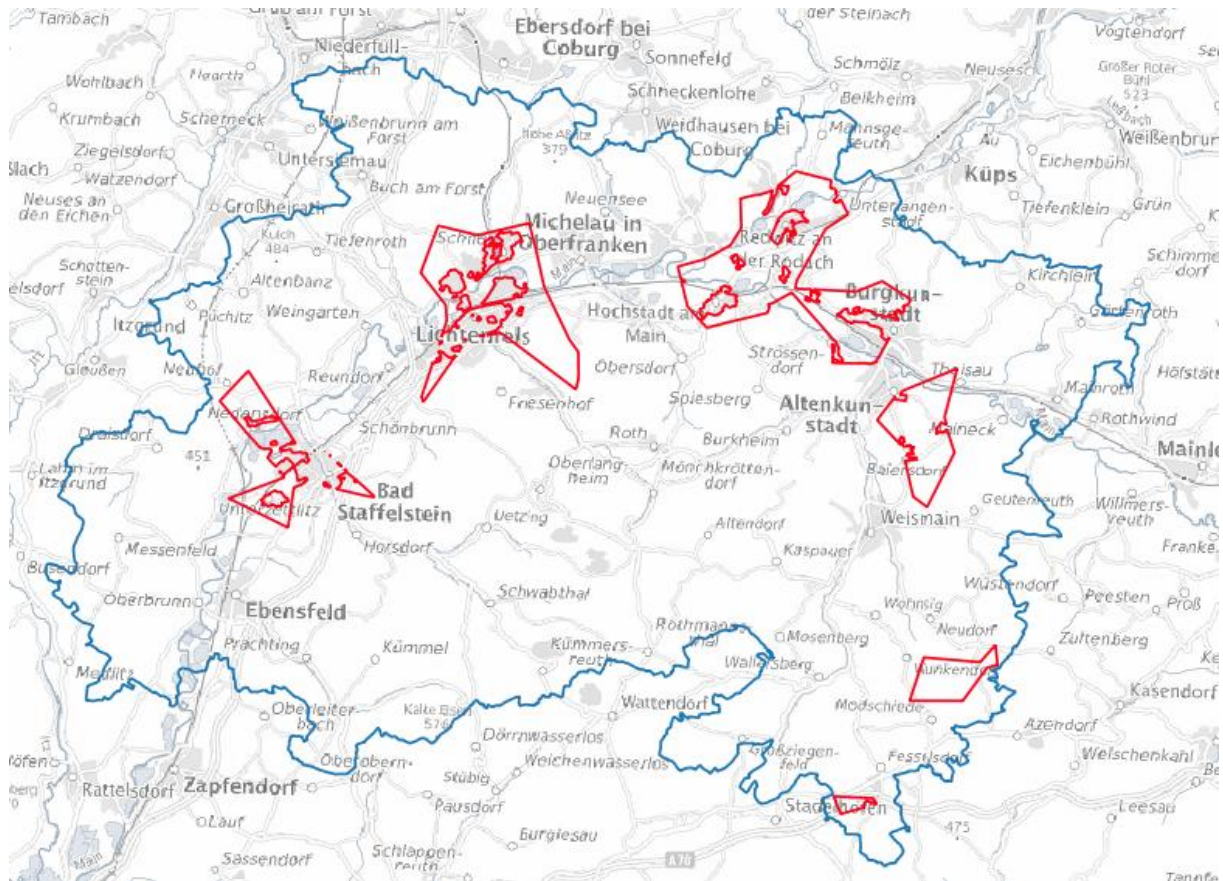


Abbildung 87: Vorläufige Potenzialräume im Landkreis Lichtenfels.

Die ausgebildeten vorläufigen Potenzialräume sind der nachfolgenden Abbildung 87 zu entnehmen. Diese sind liegen entlang der Hauptverkehrsachsen im Landkreis.

Gemäß der Methodik erfolgt nun mit Schritt 4 die Verschneidung der vorläufigen Potenzialräume mit dem erzeugten Bewertungsgitter. Das Ergebnis dieser Verschneidung sind die 5 % besten Potenzialräume im Landkreis. Es handelt sich hierbei um Potenzialräume mit optimalen, infrastrukturellen Rahmenbedingungen für eine regionale Wasserstoffinfrastruktur. Im Landkreis liegen die Gebiete nord-östlich im Raum Lichtenfels und Bad Staffelstein.

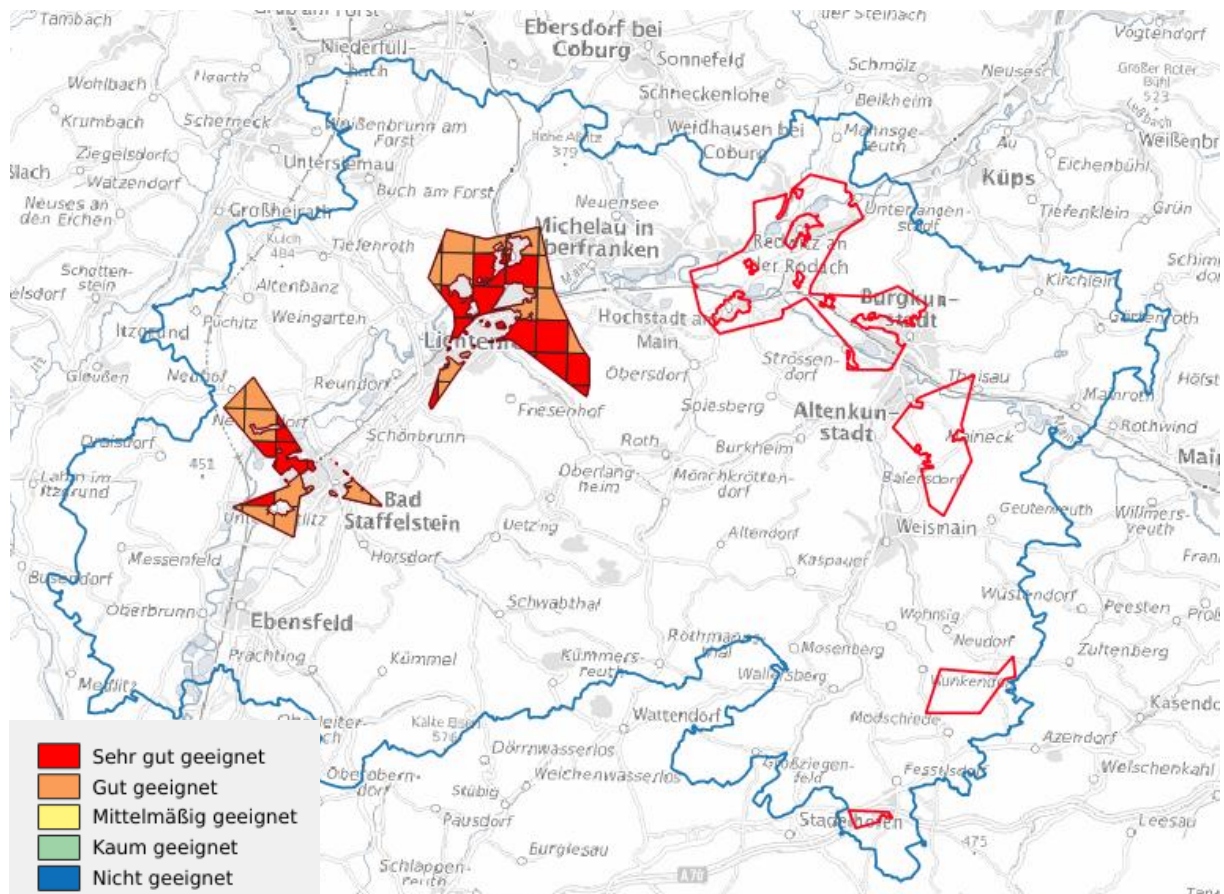


Abbildung 88: Potenzialräume für eine Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis Lichtenfels.

Wie bereits erwähnt, weisen diese Potenzialräume sehr gute infrastrukturelle Rahmenbedingungen auf. Allerdings kann die Bewertung und damit die Ausweisung dieser Potenzialräume auch durch besondere geografische Ansammlungen von prädestinierten Wasserstoffabnehmern als sehr gut geeignet gekennzeichnet sein, obwohl bspw. EE-Potenziale überhaupt nicht zur Verfügung stehen. Um die regionale Wertschöpfung in der Region auszubauen ist es sinnvoll, die Wege zwischen regionalen EE-Erzeugern (z.B. Wind und PV) der Wasserstoffproduktion und möglichen Abnehmern gering zu halten, da auch die Transportkosten von Wasserstoff die Wirtschaftlichkeit eines Projekts deutlich beeinflussen können. Idealerweise könnte so ein Elektrolyseur mittels Direktleitung Strom aus einer EE-Anlage beziehen und so Wasserstoff für eine nahegelegene Firma oder Wasserstofftankstelle produzieren. Um diese Fälle zu betrachten, wurde eine nachgeschaltete Kriterienüberprüfung implementiert.

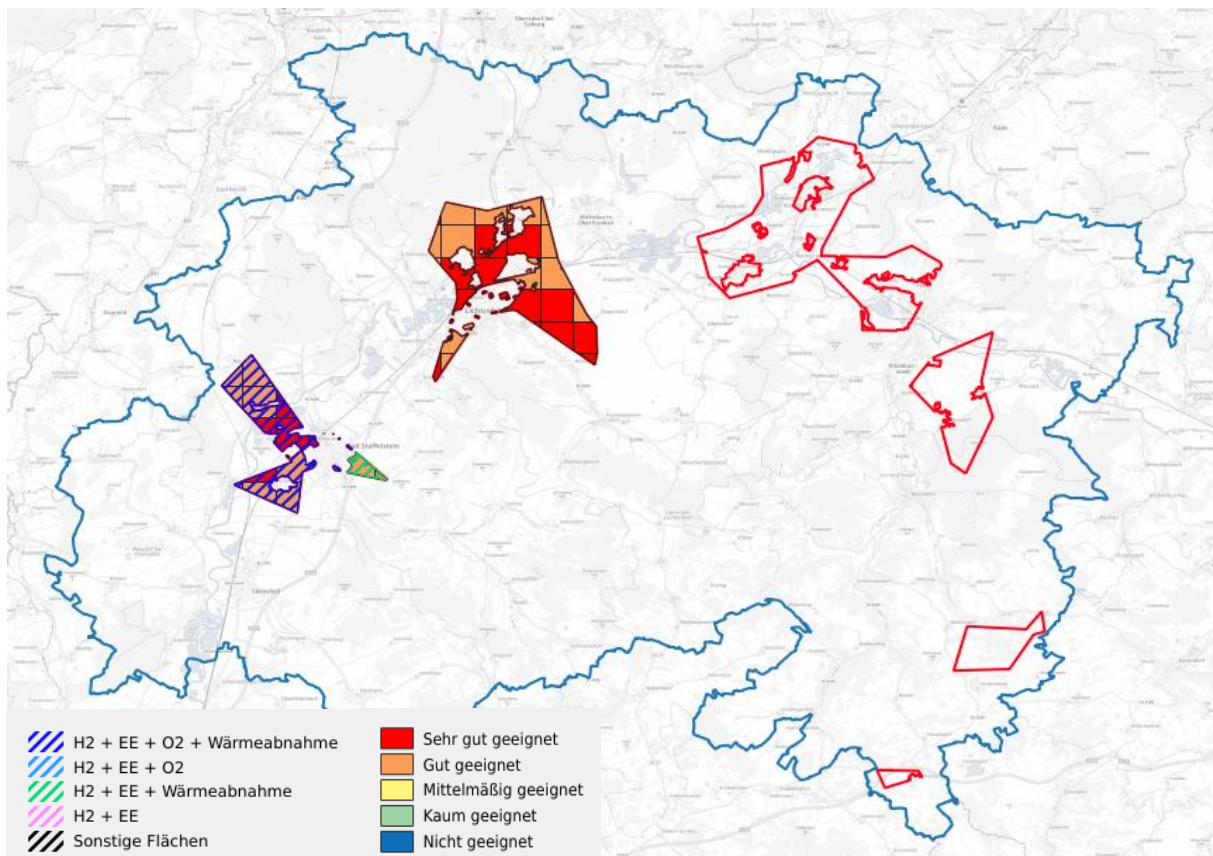


Abbildung 89: Ergebnis der Kriterienüberprüfung für die Erzeugung von Wasserstoff.

Dabei werden die Flächen auf folgende Kriterien geprüft:

- Ausreichende Wasserstoffabnahme im Umkreis vorhanden?
- Ausreichende EE-Anlagenpotenziale (PV und Wind) im Umkreis vorhanden?
- Sauerstoffabnahme im Umkreis vorhanden?
- Abwärmesenken im Umkreis vorhanden?

Die beiden Mindestkriterien sind die ausreichende Wasserstoffabnahme im Umkreis als auch ausreichende EE-Anlagenpotenziale für PV und Wind im Umkreis. Diese Überprüfung bezieht sich auf die vorläufigen Potenzialräume aus Schritt 3 bzw. Abbildung 87. Das Ergebnis der Analyse für den Landkreis Lichtenfels ist der Abbildung 89 zu entnehmen. Die blau bzw. grün schraffierten Flächen um Bad Staffelstein erfüllen alle Kriterien und weisen demnach eine geeignete Wasserstoffabnahme für die Erzeugung von Prozesswärme und Einsatz in KWK-Prozessen auf. Zusätzlich liegen im Umkreis ausreichende EE-Potenziale und mögliche Abwärme- und Sauerstoffsinken vor. Zugleich gehören die schraffierten Flächen den

bestbewerteten Potenzialräumen im Landkreis an. Demnach sind die Flächen als geeignete Flächen für den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur mit kurzen Distanzen zwischen EE-Erzeugung, Wasserstofferzeugung und Abnahme sowie Nutzung der anfallenden Nebenprodukte Abwärme und Sauerstoff zu verstehen.

7.3.5.2 Standortfestlegung

Aus dem vorherigen Kapitel resultieren mehrere Potenzialräume in Umfeld der Stadt Bad Staffelstein, welche in diesem Kapitel detailliert betrachtet werden und spezifiziert werden:

- Belüftete Kläranlage der Stufe 4 mit Ausbaustufe 26.000 EW
- Stadt Bad Staffelstein (nord-östliches Gewerbegebiet)

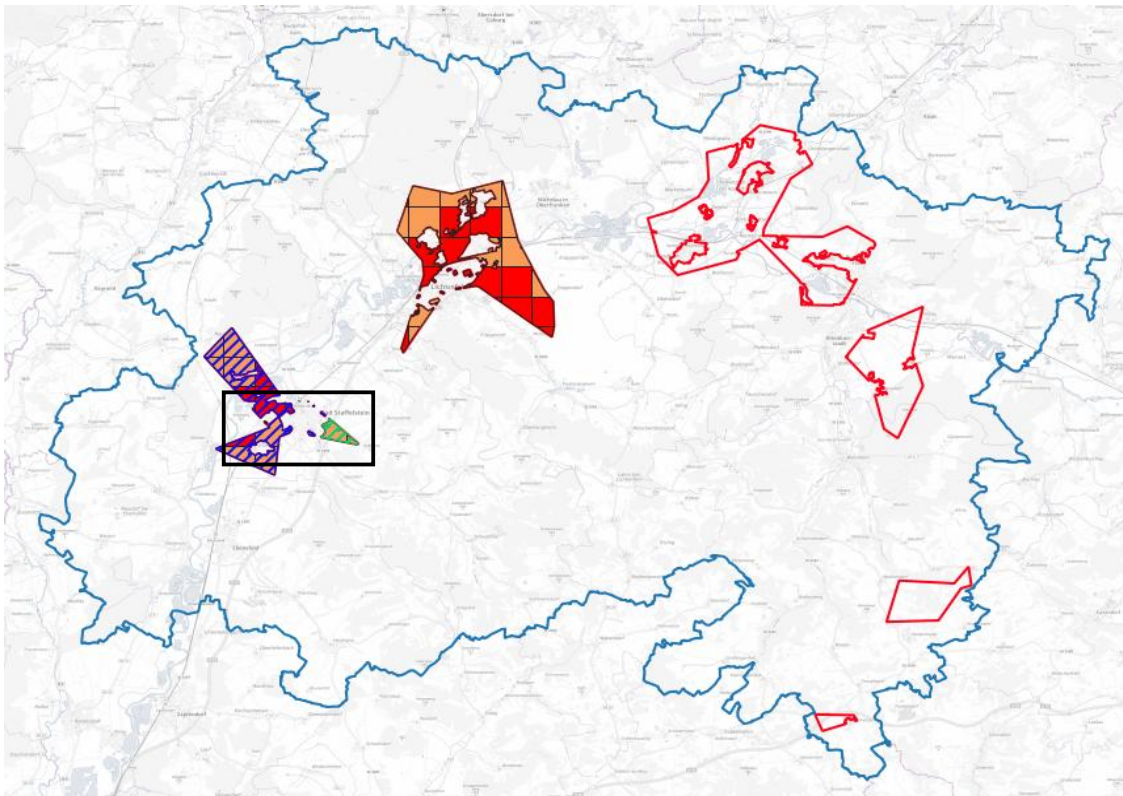


Abbildung 90: Betrachtete Standorte (schwarz eingekreist) für die Errichtung einer Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis Lichtenfels.

Die betrachteten Standorte sind in Abbildung 90 grafisch dargestellt (schwarz umrandet)

Am Standort bzw. im Umfeld der Kläranlage Bad Staffelstein, welcher sich zudem in unmittelbarer Nähe zur ansässigen Industrie, welche überwiegend HT-Prozesswärme benötigen, befindet, wäre zukünftig auch die Nutzung des anfallenden Elektrolysesauerstoffs

denkbar. Mit Umstellung der konventionellen Belüftungsanlagen auf Sauerstoff-Belüftungsanlagen könnte zukünftig hohe Mengen an elektrischer Energie eingespart werden. Ein weiterer Standortvorteil wäre die Möglichkeit zum Aufbau eines Wärmenetzes in Richtung Bad Staffelstein ausgehend von der Kläranlage bzw. Elektrolyse. Der hier erzeugte Elektrolysesauerstoff kann zukünftig per Trailer an die Industrie in Bad Staffelstein geliefert und somit die Dekarbonisierung dieser zu unterstützen. Zusätzlich befinden sich im Umkreis der Kläranlage EE-Potenziale. Die möglichen EE-Anlagen auf diesen Flächen könnten unter Umständen per Direktleitung zukünftig die elektrische Energie für den Elektrolyseur liefern. Dadurch lassen sich Netzentgelte bei den Stromkosten einsparen. Im Landkreis befindet sich bereits ein Unternehmen, welches sich auf den Trailertransport und den Vertrieb von grünem Wasserstoff und anderen (Industrie-)Gasen spezialisiert hat.

Das im Nord-Osten von Bad Staffelstein liegende Gewerbegebiet wird als weiterer möglicher Standort für den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur anvisiert. Denkbar ist hier die Erzeugung von Wasserstoff, welcher per Direktleitung Wasserstoff eine nahegelegene Mikrogasturbine beliefert. Diese betreibt derzeit eine hocheffiziente Mikrogasturbine mit fossilem Erdgas im Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb. Eine Umstellung dieser Turbine auf grünen Wasserstoff zur Erzeugung von Strom und Wärme ist ein zukünftig denkbarer Anwendungsfall und würde in einem möglichen Vorreiter- und Pilotprojekt betrachtet werden können. Ein Vorteil einer solchen Insellösung wäre der leitungsgebundene Transport und keine zusätzliche, nachgeschaltete Verdichterstufe.

7.3.6 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung des Elektrolysesystems erfolgt anhand einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode (in Anlehnung an die VDI 2067 Blatt 1). Die Berechnung teilt sich in kapitalgebundene, betriebsgebundene und verbrauchsgebundene Kosten bzw. Energiekosten auf. Darauf basierend errechnen sich die sog. spezifischen Wasserstoffgestehungskosten in €/kg H₂ sowohl für den Betrieb des Elektrolyseurs als auch für den Betrieb der möglichen Wasserstofftankstelle.

7.3.6.1 Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Dabei wurden die folgenden Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung getroffen und abgestimmt:

Tabelle 10: Annahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Elektrolyseur + Trailerabfüllstation	
Anteil Fremdkapital (FK)	80 %
Anteil Eigenkapital (EK)	20 %
Betrachtungszeitraum der Anlagen	15 a
Zinssatz FK	3,1 %

Neben den in Tabelle 10 dargestellten Annahmen wurden zusätzlich folgende Annahmen getroffen:

- alle Kosten in € netto
- es wird eine 100-% Umstellung auf Wasserstoff bei den relevanten Unternehmen angenommen
- eine Marge für die potenziellen Betreiber des Elektrolyseurs wird nicht berücksichtigt

Folgende Kosten wurden dabei berücksichtigt:

- Kapitalkosten (Investitionskosten auf Basis durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten)
- betriebsgebundene und verbrauchsgebundene Kosten (Wartung, Instandhaltung, Betrieb, technische Überwachung, Personalkosten, Versicherung, Verwaltung)
- Energiekosten (Elektrische Energie, Hilfsenergie)

7.3.6.2 Elektrolyse

Die Investitionskosten der Elektrolysesysteme sind nicht vollständig als konkrete Angebotspreise, sondern lediglich als durchschnittliche Marktpreise zu verstehen. Diese können in der tatsächlichen Umsetzung nach oben oder unten abweichen.

Tabelle 11: Gesamtinvestitionskosten für die Elektrolysesysteme in € netto.

Betrachtungsfall	Fall 1:	Fall 2:	Fall 3:
Standort	Kläranlage Bad Staffelstein	Gewerbegebiet Bad Staffelstein	Bsp. Standorte: Umspannwerk, Kläranlage, Firmengelände
Planungs-, Installations- und unvorhergesehene Kosten	3.200.000	1.600.000	5.700.000
Elektrolyseur	8.500.000	4.800.000	15.000.000
Speicher, Verdichter, Abfüllung	6.300.000	2.000.000	10.400.000
Sonstige Peripherie	400.000	300.000	700.000
Erschließungskosten Strom	200.000	400.000	1.400.000
Gesamtinvestitionskosten	18.600.000	9.100.000	33.200.000

Die Gesamtkosten belaufen sich auf ca. 9,1 bis 33,2 Mio. €. Bei den in der Tabelle aufgeführten Investitionskostenbestandteile sind folgende Anlagenbestandteile enthalten:

- Elektrolyseur:
 - PEM-Elektrolyse (5 MW, 2,5 und 10 MW)
 - Wärmerückgewinnungsmodul
 - Stromversorgung
 - Lieferkosten
- Speicher und Verdichter:
 - Mitteldruck Pufferspeicher

- Gasmanagement
- Verdichterstation auf 450 bzw. 500 bar (Fall 1 und Fall 3)
- Dockingstation und Abfüllanlage für Wasserstoff für Trailertransport (Fall 1 und Fall 3)
- Sonstige Peripherie
 - Elektrische Anbindung
 - Messtechnik
 - Kosten für Gebäude/Unterstand und Montagesystem
 - Anbindung Gasversorgung (Fall 2)
- Erschließungskosten Strom
 - Baukostenzuschuss des regionalen Netzbetreibers auf Mittelspannungsebene: 125,31 €/kW Anschlussleistung [59]

Die drei Kostenbestandteile Planung (7,5 %), Installation (7,5 %) und Unvorhergesehenes (5 %) werden pauschal/prozentual in Abhängigkeit der Investitionskosten ermittelt und anschließend prozentual (in Abhängigkeit der Investitionskosten) aufgeteilt. Die daraus resultierenden Kosten sind in Tabelle 11 unter dem Punkt „Planungs-, Installations- und unvorhergesehene Kosten“ zusammengefasst.

Die betriebsgebundenen und verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Kosten für die Bedienung der technischen Anlagen, die Kosten für Wartung und Instandhaltung der einzelnen Anlagen und Komponenten sowie Personalkosten, Versicherung, Verwaltung und Pachtkosten. Die Kosten werden in Anlehnung an die in der VDI 2067 festgelegten Werte und Daten aus der Marktanalyse bzw. aus den Gesprächen mit Herstellern angesetzt:

- Wartung und Instandhaltung der Komponenten: 1 % (angelehnt an Aussagen der Hersteller)
- Bedienungsaufwand: 1 Vollzeitstelle
- Wasserbezugskosten der Stadtwerke Lichtenfels [60]

Die Energiekosten setzen sich aus den angenommenen Strompreisen zum Betrieb des Elektrolyseurs sowie der Verdichterstation und weiteren Komponenten zusammen:

- Fall 1:
 - Direktleitung Elektrolyseur: 6,50 ct/kWh_{el} (Annahme IfE für PPA)

- Netzbezug Verdichter: 14,35 ct/kWh_{el} (Annahme IfE für Börsenbezug)
- Fall 2:
 - Netzbezug Elektrolyseur: 6,81 ct/kWh_{el} (Annahme IfE für PPA)
- Fall 3:
 - Netzbezug Elektrolyseur: 6,67 ct/kWh_{el} (Annahme IfE für PPA)
 - Netzbezug Verdichterstation: 13,33 ct/kWh_{el} (Annahme IfE für Börsenbezug)

Der Elektrolysestrom ist von folgenden Entgelten und Umlagen befreit [61]:

- Stromsteuer (über nachträgliche Rückerstattung)
- Netznutzungsentgelte der Verteilnetzbetreiber für 20 Jahre (Voraussetzung: Inbetriebnahme der Anlage bis Juli 2029); vgl. § 118 EnWG Abs. 6
- Konzessionsabgabe (Wenn keine öffentlichen Wege gekreuzt werden oder sofern die derzeitigen Strompreise der Kunden höher als der PPA-Preis sind; vgl. § 2 KAV Abs. 4) → Nur Fall 1
- Offshore- und KWKG-Umlage

Nachfolgende Abbildung 91 zeigt die resultierenden Wasserstoffgestehungskosten der verschiedene Betrachtungsfälle. Zu sehen sind spezifische Wasserstoffgestehungskosten zwischen 8,50 € pro Kilogramm Wasserstoff bzw. 22 ct/kWh_{H₂} im Fall 3 und 9,50 € pro Kilogramm Wasserstoff bzw. 24 ct/kWh_{H₂} im Fall 1. Zu sehen ist, dass die kapitalgebundenen Kosten und die Energiekosten einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten haben. Steigen die jährlichen Vollbenutzungsstunden der betrachteten Elektrolyseure bis zum Jahr 2040, sinken die Kapitalkosten. Im Zuge dessen steigen allerdings auch die Energiekosten. Jedoch wird ein Kilogramm Wasserstoff günstiger, weil der Einfluss der kapitalgebundenen Kosten deutlich sinkt. Damit ist bis zum Jahr 2040 mit deutlich reduzierten Wasserstoffgestehungskosten zu rechnen. Zu beachten ist jedoch, dass die Systeme der verschiedenen Betrachtungsfälle nicht direkt vergleichbar sind. Die Systeme haben unterschiedliche Größenordnungen und Verteilungswege für Wasserstoff.

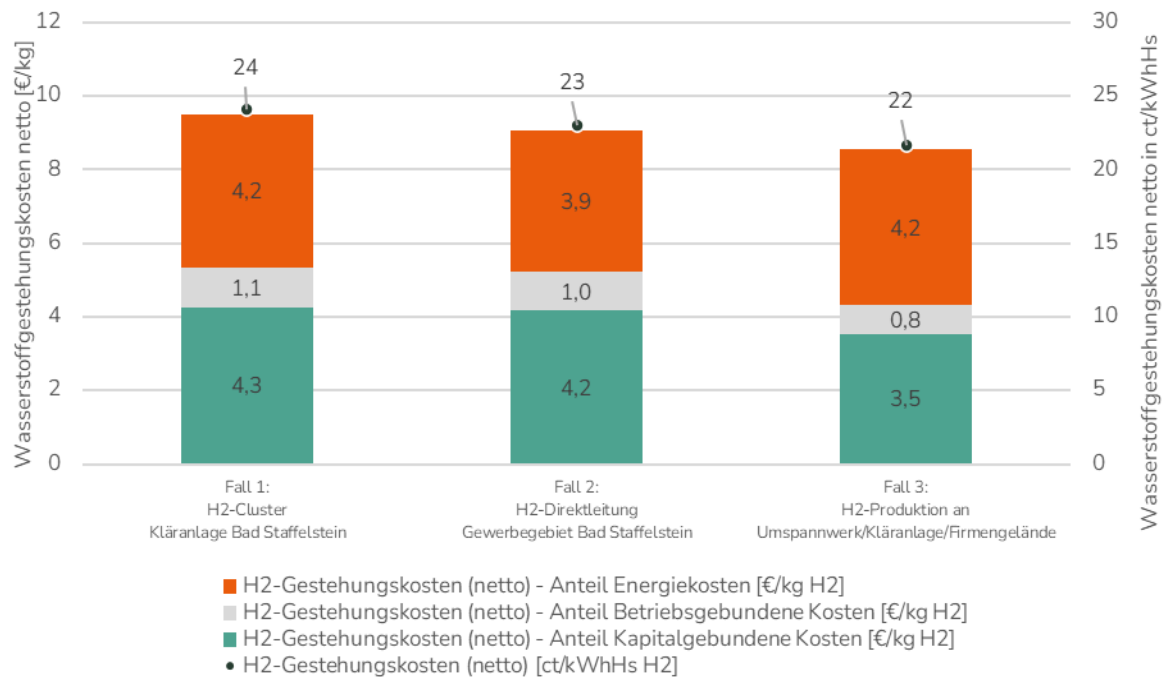


Abbildung 91: Resultierende Wasserstoffgestehungskosten netto.

Nachfolgend werden potenzielle Erlöse ausgewiesen, die nach Kalkulation der H₂-Gestehungskosten als Zusatzerlöse (wasserstoffseitig) in Abzug gebracht werden können.

- Vermarktung der Abwärme: 0,6 €/kg H₂ (bei einem Erlös von 5 ct/kWh_{th} und Verwendung der gesamten Abwärme)
- Vermarktung von Sauerstoff: 0,8 €/kg H₂ (bei einem angenommenen Erlös von 10 ct/kg O₂ bei Verwendung von 100 % des anfallenden Sauerstoffs)

Der Absatz bzw. der Zusatzerlös von Sauerstoff basiert auf Preisen für die Eigenerzeugung von Sauerstoff vor Ort mittels Luftzerlegung [62]. Im Falle der Kläranlage müsste eine Detailbetrachtung gegenüber den durch die Verwendung von reinem Sauerstoff eingesparten Energiekosten durchgeführt werden. Eine aktuelle Studie zeigt aber, dass die direkte Verwendung von Elektrolysesauerstoff auf einer Kläranlage einen positiven Einfluss auf die Wasserstoffgestehungskosten hat, welcher aber auch von den aktuellen Energiekosten abhängig ist [63].

Beim Absatz von grünem Wasserstoff als sog. RFNBO an Tankstellen zu Mobilitätszwecken können zusätzliche Erlöse durch die Vermarktung der THG-Quote erzielt werden. Wichtig ist hierbei immer die Definition, dass es sich um eine Anlage zur Produktion von grünem Wasserstoff gemäß der 37. BImSchV handelt. Zudem muss auf der gesamten

Wasserstoffwertschöpfungskette eine THG-Reduzierung von mind. 70 % gegenüber der fossilen Referenz (grauer Wasserstoff) eingehalten werden und zertifiziert werden.

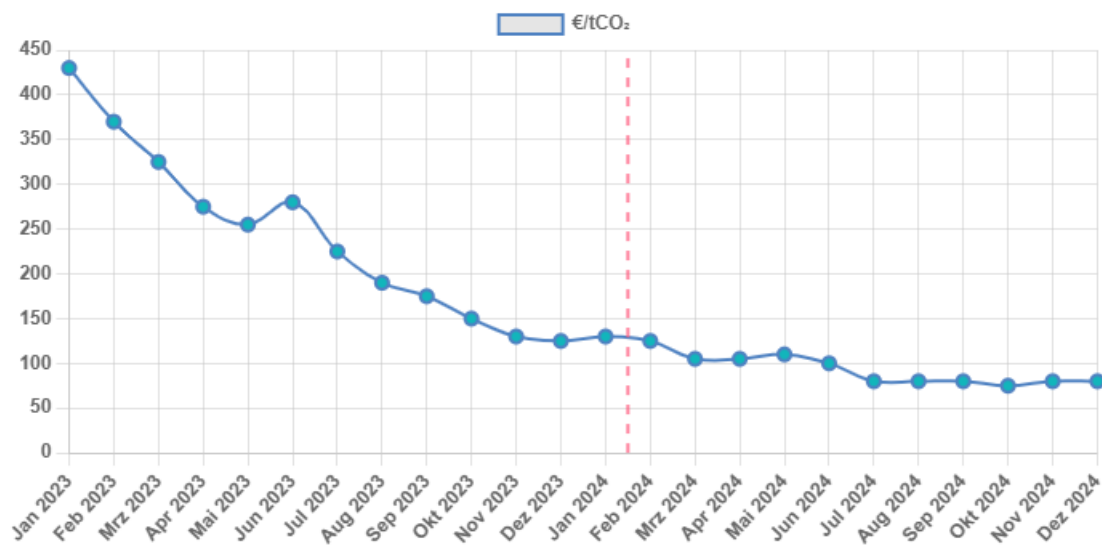


Abbildung 92: THG-Prämie Preisentwicklung 2023/2024 (Stand: 16.02.2025). [64]

Das Erlöspotenzial über die Vermarktung der THG-Quote für die Wasserstoffanwendung in der Mobilität hängt sehr stark von der Preisentwicklung der THG-Quoten (€/t CO₂-Äquivalent) ab. Mit steigenden Preisen für THG-Quoten können zusätzliche Erlöse generiert werden. Im Jahr 2024 liegt der Wert durchschnittlich bei 100 €/t CO₂-Äquivalent. Dies geht aus Abbildung 92 hervor. Dabei ergibt sich rechnerische THG-Quotenerlös von 2,90 €/kg H₂ für das Jahr 2025. Die Zusatzerlöse können nur über den Inverkehrbringer von grünem Wasserstoff generiert werden. Dazu zählen öffentliche Wasserstofftankstellen oder Raffinerien.

Für den Fall 1 liegen die theoretisch erreichbaren Wasserstoffgestehungskosten unter Abzug der Zusatzerlöse Abwärme, Sauerstoff und THG-Quoten bei rund 6,00 € pro Kilogramm Wasserstoff. Zu beachten ist hier, dass zusätzlich Transportkosten anfallen können, welche die Kosten für das Kilogramm Wasserstoff beim Endkunden nochmal anheben können. Im Falle des Elektrolyseurs zur Versorgung der Mikrogasturbine im Gewerbegebiet Bad Staffelstein ließen sich durch die Zusatzerlöse Wasserstoffgestehungskosten von 8,50 € pro Kilogramm erreichen. Im Fall 3 liegen die möglichen Gestehungskosten nach Abzug der Erlöse aus dem vollständigen Absatz der Abwärme und dem THG-Quotenhandel bei rund 5,00 € pro Kilogramm. Wie auch im Fall 1 muss hier mit zusätzlichen Transportkosten gerechnet werden.

Die möglichen Erlöse aus der Bereitstellung der Abwärme und Sauerstoff sowie die Vermarktung der THG-Quote sind große Hebel in Bezug auf die Vermarktung und Akzeptanz von grünem Wasserstoff in der Mobilität und Industrie. Nach aktuellem Stand liegen die spezifischen Kosten für Wasserstoff der Fälle 2 und 3 in einem konkurrenzfähigen Bereich (Voraussetzung: Nutzung von 100 % Abwärme und Sauerstoff sowie die Weiterleitung von 100 % der THG-Quotenerlöse an den Wasserstoffherzeuger). Zum Vergleich liegen die derzeitigen Kosten von grünem Wasserstoff (350 bar) an Tankstellen des H2 MOBILITY Netzes bei rund 10,00 € pro Kilogramm.

Zusätzlich zu den Erlösen aus der THG-Quotenvermarktung, der Abwärme- und Sauerstoffnutzung lassen sich durch die Strompreiskompensation bei der Wasserstoffproduktion Zusatzerlöse von ca. 1,90 € pro Kilogramm nach aktueller Fassung der Leit- und Richtlinie erzielen [65], [66]. Voraussetzung hierfür ist, dass der Elektrolyseur durch ein Unternehmen mit Energiemanagement betrieben wird und anderweitige Maßnahmen zum Klimaschutz- und Energieeffizienzmaßnahmen durchgeführt werden [65], [66].

7.3.7 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Schwerpunktprojekts Wasserstoff zeigen, dass Anwendungsfälle für Wasserstoff im Landkreis zukünftig vorhanden sind. Gerade das Thema Mobilität mit Schwerlast und ÖPNV sowie die Nutzung von Wasserstoff zur Erzeugung von Hochtemperaturprozesswärme und KWK sollte im Landkreis fokussiert werden. Unter diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Detailprojekts Wasserstoff zukünftige Wasserstoffbedarfe durch Befragung der Industrie, Flotten- und ÖPNV-Betreiber ermittelt. Daraufhin wurde eine GIS-Analyse zur Ermittlung möglicher Potenzialräume für die Erzeugung von Wasserstoff und der Aufbau von Wasserstofftankstellen durchgeführt. Anhand der Ergebnisse konnten Wasserstoffhochlaufszszenarien erzeugt und mögliche Projekte einer ersten Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen. In den Fokus der Analyse rückten die Kläranlage Bad Staffelstein, das Gewerbegebiet im Norden von Bad Staffelstein sowie ein noch undefinierter Standort.

Der erste Betrachtungsfall (Fall 1) war das Wasserstoff-Cluster an der Kläranlage Bad Staffelstein. An der Kläranlage wurde ein 5 MW-Elektrolyseur betrachtet, welcher in Verbindung mit einer möglichen, alternativen Wasserstoffproduktion aus Klärschlamm den

prognostizierten Wasserstoffbedarf im Mittelwegsszenario für die Industrie, Gewerbe und Mobilität für den Landkreis Lichtenfels 2040 decken kann und bis dahin auch Überschüsse für weitere Wasserstoffanwendungen produzieren kann. Die Wasserstoffgestehungskosten liegen bei ca. 9,50 € pro Kilogramm. Durch die mögliche Nutzung der Abwärme in Bad Staffelstein und Sauerstoff an der Kläranlage lassen sich die Wasserstoffgestehungskosten weiter optimieren.

Als weiterer Betrachtungsfall (Fall 2) wurde eine H₂-Versorgung einer Mikrogasturbine im Gewerbegebiet im Norden von Bad Staffelstein berechnet. Hierzu wurde zunächst ein 2,5 MW-Elektrolyseur mit ca. 4.000 Vollbenutzungsstunden und Wasserstoffdirektleitung dimensioniert. Die Gestehungskosten für Wasserstoff durch einen Elektrolyseur liegen bei rund 9,10 € pro Kilogramm. Durch Abzug der Wärmeerlöse liegen die resultierenden Kosten bei 8,50 € pro Kilogramm Wasserstoff.

Im Fall 3 wurde ein 10 MW Elektrolyseur an einem undefinierten Standort mit 4.300 Vollbenutzungsstunden dimensioniert. Damit kann dieser Elektrolyseur den bis 2040 benötigten Wasserstoff im Landkreis bereits im Jahr 2030 erzeugen, aber auch Wasserstoff für den Export in angrenzende Regionen produzieren. Die Wasserstoffgestehungskosten liegen zu Beginn bei rund 8,50 € pro Kilogramm Wasserstoff. Beim Absatz von grünem Wasserstoff an öffentlichen Wasserstofftankstellen können Zusatzerlöse mittels THG-Quote von ca. 2,90 € pro Kilogramm Wasserstoff erzielt werden. Des Weiteren können durch die Vermarktung der anfallenden Elektrolyseabwärme die resultierenden Wasserstoffgestehungskosten nochmals um 0,60 € pro Kilogramm Wasserstoff reduziert werden.

Damit ergeben sich gerade aus dem Fall 3 Wasserstoffgestehungskosten, welche für die Vermarktung in der Mobilität durchaus interessant sind. Zudem lassen sich durch die Beantragung von Fördermitteln, z.B. BayFELI, die Investitionskosten der Elektrolyseure weiter und somit auch die Wasserstoffgestehungskosten reduzieren. Damit wird der Einsatz von Wasserstoff auch für Anwendungen neben der Mobilität attraktiver.

Zudem sind Zusatzerlöse von ca. 1,90 € pro Kilogramm durch die Strompreiskompensation möglich, sofern ein Unternehmen mit Energiemanagement den Elektrolyseur betreibt.

Zusätzlich sollte bei einer Realisierung eines Projekts der Kontakt zu regionalen Gashändlern gesucht werden, welche stets auf der Suche nach Quellen für grünen Wasserstoff sind. Grundsätzlich sollte in einem nächsten Schritt auf Basis der vorliegenden Ergebnisse beschlossen werden, ob der Landkreis Lichtenfels eine eigene Wasserstoffstrategie mit einer eigenen Wasserstoffinfrastruktur realisieren kann. Als Plattform hierzu kann z.B. ein Treffen mit allen kommunalen Vertretern und dem Regionalwerk im Landkreis dienen, in welchem die Ergebnisse nochmal vorgestellt werden. Dabei sollte besprochen werden, welche der im ENP dargestellten Standorte näher betrachtet werden soll. Im Falle einer Standortfindung sollte zusammen mit dem Regionalwerk ein geeignetes Strombezugskonzept erarbeitet werden, welches die Kriterien der 37. BImSchV für grünen Wasserstoff erfüllt.

Weiterhin sollte der Kontakt zu anderen Wasserstoffregionen im Umkreis bzgl. ihrer Erfahrungen in diesem Bereich gesucht werden. Das Networking in Bezug auf das Thema Wasserstoff spielt eine sehr große Rolle. Die nahe gelegenen Landkreise Haßberge und Wunsiedel mit ihren bestehenden Elektrolyseuren sowie die HyBaBo-Projektregion sind prädestinierte Ansprechpartner.

8 Zusammenfassung

Mit dem digitalen Energienutzungsplan für den Landkreis Lichtenfels wurde ein Instrument zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieerzeugungs- und Energieversorgungsstruktur erarbeitet, um die Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen und den Ausbau erneuerbarer Energien voranzutreiben. Der Fokus liegt dabei auf der Identifizierung und dem Aufzeigen von konkreten Handlungsmöglichkeiten vor Ort, die in einen Maßnahmenkatalog überführt werden.

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 aktuell rund 50 % des Strombedarfs aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. Dabei hat die Aufdach-Photovoltaik mit knapp 35% den größten Anteil, gefolgt von Biomasse-KWK mit rund 20%, Freiflächen-Photovoltaik mit ca. 18%, Windkraft mit knapp 15% und der Wasserkraft mit rund 11%. Ein kleiner Teil von ca. 2% fällt in die Kategorie der Kraft-Wärme-Kopplung.

Die Wärmeerzeugung erfolgt derzeit überwiegend durch fossile Energieträger, insbesondere Heizöl und Erdgas, die mit einem Anteil von etwa 75 % den Hauptanteil an der Versorgung ausmachen. Erneuerbare Energien, bestehend aus Biomasse und Solarthermie, tragen etwa 20 % zur Wärmeversorgung bei und stellen somit eine wichtige, aber vergleichsweise geringere Komponente dar. Elektrische Heizsysteme, darunter vor allem Wärmepumpen, spielen mit einem Anteil von etwa 3 % eine noch marginale Rolle bei der Deckung des thermischen Endenergiebedarfs.

Sämtliche Energieverbrauchsdaten wurden gebäudescharf erfasst und in ein gebäudescharfes Wärmekataster überführt. Dieses Kataster ist ebenso 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, die ebenfalls eine Potenzialermittlung im Bereich der Wasserstofferzeugung beinhaltet. 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 bei der solaren Stromerzeugung auf Dachflächen und Freiflächen sowie 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. Bei der Ausarbeitung des Potenzials hinsichtlich der Erzeugung aus Wasserstoff hat sich ebenfalls gezeigt, dass im Landkreis durchaus Anwendungsfälle vorherrschen, insbesondere im Bereich des ÖPNV und Mobilität.

Aufbauend auf die Potenzialanalyse erfolgte die Ausarbeitung zweier Energieszenarien für das Jahr 2040. Die Energieszenarien zeigen, dass es im Landkreis Lichtenfels generell möglich ist, eine bilanzielle Energieversorgung aus regionalen erneuerbaren Energien (in Verbindung mit klugen Speichertechnologien) zu erreichen, wenn dementsprechende Maßnahmen umgesetzt werden.

Durch die im Energienutzungsplan bis zum Jahr 2040 prognostizierten Transformationsprozesse (Ausbau Elektromobilität, Ausbau Wärmepumpen) wird der Strombedarf künftig stark steigen. Aus diesem Grund ist ein weiterer Ausbau regionaler erneuerbarer Energien zur Erreichung der Klimaziele zwingend erforderlich. Zur Maximierung der regionalen Wertschöpfung und der bestmöglichen Integration der im Landkreis erzeugten Energiemengen ist eine kluge Strategie in Verbindung mit Speichertechnologien (Batteriespeicher, Elektrolyse) sowie einer möglichst hohen Lastverschiebung (z.B. Laden von Elektroautos, Wärmepumpenbetrieb, o.ä.) zwingend erforderlich und nicht mehr nur der reine Zubau an erneuerbaren Energien anzustreben. Hierfür gilt es, unter Berücksichtigung der geltenden regulatorischen Rahmenbedingungen, möglichst netz- und systemdienlich vorzugehen, was eine koordinierte Vorgehensweise aller Akteure erfordert. Auch die weitere sinnvolle Einbindung der bereits installierten Biogasanlagen (mit dem Potenzial einer flexiblen Erzeugung) in das Gesamtsystem müssen vorangetrieben werden. Dies sollte einen Fokus der nun anstehenden kommunalen Wärmepläne der Kommunen im Landkreis

darstellen. Hierbei muss auch das Thema „Zukunft bzw. Transformation der Erdgasnetze“ und deren Einbindung in das Gesamtsystem betrachtet werden.

Als Ergebnis des Energienutzungsplans konnte ein kommunenspezifischer Maßnahmenkatalog mit konkreten Projektideen für jede Kommune des Landkreises Lichtenfels sowie ein landkreisweiter Maßnahmenkatalog erarbeitet werden. Es wird empfohlen diese Projektideen in enger Zusammenarbeit mit den relevanten Akteuren, insbesondere dem Regionalwerk Obermain, zu prüfen und die nächsten Schritte abzustimmen. Neben des Schwerpunktbausteins der Potenzialermittlung im Bereich der Wasserstofferzeugung, wurde zudem eine energetische Nutzung auf der Deponie in Oberlangheim überprüft sowie in einer umfassenden Betrachtung auf Basis einer Datenerhebung bei den Kläranlagen analysiert, wie die Entwässerung des anfallenden Klärschlammes im Landkreis sichergestellt und welche Verwertungsmöglichkeiten für entwässerten und getrockneten Klärschlamm aufgezeigt werden können. Daraus konnten vielversprechende Handlungsmöglichkeiten abgeleitet werden, die eine zukunftsfähige und interkommunal tragfähige Klärschlammverwertung im Landkreis ermöglichen.

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.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Bayerische Staatsregierung, „Energieatlas Bayern“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energieatlas.bayern.de/>
- [2] ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Hrsg., „BISKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal“. November 2019. Zugriffen: 10. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BISKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf
- [3] Kfz-Zulassungsstelle Landratsamt Lichtenfels, „Zulassungszahlen nach Kraftfahrzeugen und Kraftstoffen“. 6. Februar 2024.
- [4] Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Hrsg., „Verkehr in Zahlen 2023/2024“. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 5. März 2024. Zugriffen: 9. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/verkehr-in-zahlen23-24-pdf.pdf?__blob=publicationFile
- [5] Kraftfahrt-Bundesamt, „Fahrzeuge - Bestand“. Zugriffen: 13. Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html
- [6] Landesbaudirektion Bayern Zentralstelle Straßeninformationssysteme, „Straßenverkehrszählung 2015“, BAYSIS Bayerisches Straßeninformationssystem. Zugriffen: 3. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baysis.bayern.de/internet/verdat/svz/kennwerte/index.html>
- [7] Landesbaudirektion Bayern Zentralstelle Straßeninformationssysteme, „Straßenverkehrszählung 2021“, BAYSIS Bayerisches Straßeninformationssystem. Zugriffen: 3. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baysis.bayern.de/internet/verdat/svz/kennwerte/index.html>
- [8] Landratsamt Lichtenfels, „Schienenkilometer im Landkreis“. 6. Februar 2024.
- [9] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., Hrsg., „Bayernplan Energie 2040“. Juli 2023. doi: 10.34805/ffe-17-23.
- [10] Boston Consulting Group, Hrsg., „KLIMAPFADE 2.0: Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft“. Oktober 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://web-assets.bcg.com/58/57/2042392542079ff8c9ee2cb74278/klimapfade-study-german.pdf>
- [11] Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, Hrsg., „Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen“. Februar 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.agora-energiawende.de/fileadmin/Projekte/2018/65_EE_und_Kohleausstieg/Foliensatz_Kohleausstieg_2030_65_Aurora_Energy_Research.pdf
- [12] Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, Hrsg., „Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem – Update Klimaneutralität 2045“. November 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Klimaneutralitaet-2045.pdf>
- [13] Europäische Kommission, „Der europäische Grüne Deal“. Dezember 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de
- [14] Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Hrsg., „Die Wärmewende in Deutschland: Bedeutung, Ziele und Umsetzbarkeit“. Oktober 2023. [Online]. Verfügbar unter:

- <https://www.bundestag.de/resource/blob/940166/b842d5428e65f5924a17f2d5d66a8a54/WD-5-010-23-pdf-data.pdf>
- [15] Deutscher Bundestag, *Erneuerbare Energien Gesetz: EEG*. 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/inhalts_bersicht.html
- [16] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Eröffnungsbilanz Klimaschutz“. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile
- [17] Deutscher Bundestag, *Gebäudeenergiegesetz: GEG*. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/index.html#BJNR172810020BJNE012501119>
- [18] Agora Industrie, Hrsg., „Power-2-Heat: Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie“. September 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projekte/2021/2021-05_IND_DE-P4Heat/A-EW_269_Power-2-Heat_WEB.pdf
- [19] „DENA-GEBÄUDEREPORT 2023. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand.“ Deutsche Energie-Agentur, Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena_Gebaeudereport_2023.pdf
- [20] Umweltbundesamt, „Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr“. Februar 2024. Zugriffen: 3. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/13_2024_texte_analyse_der_umweltbilanz_von_kraftfahrzeugen_0.pdf
- [21] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI und Consentec GmbH, „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 Kurzbericht: 3 Hauptszenarien“. 21. Juni 2021. Zugriffen: 28. Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/LFS_Kurzbericht.pdf&ved=2ahUKEwizn-SuyPeLAXFRPEDHRZZL6UQFnoECAkQAAQ&usg=AOvVaw1nDNy2k18wLrszvWLP8aGr
- [22] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, „Klimapolitik in Bayern“. Zugriffen: 4. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimaschutzpolitik/index.htm>
- [23] Die Bundesregierung, „Nachhaltige Mobilität“. Zugriffen: 4. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/nachhaltige-mobilitaet-2044132>
- [24] Umweltbundesamt, Hrsg., „Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt“. März 2024. Zugriffen: 4. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-ergebnisse-kompakt>
- [25] Umweltbundesamt, „Fahrleistungen, Verkehrsleistung und Modal Split“. Zugriffen: 4. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#fahrleistung-im-personen-und-guterverkehr>
- [26] Prognos, Öko-Institut, und Wuppertal-Institut, „Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann“. Juni 2021. Zugriffen:

13. Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.agora-energiawende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_231_KNDE2045_Langfassung_DE_WEB.pdf
- [27] Stadt Konstanz, „23 neue E-Gelenkbusse“. Zugriffen: 5. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.konstanz.de/150278_158755_149754_595947_595156
- [28] Redaktionsbüro SCHREIBERtext, „0,77 kWh pro Kilometer“. Zugriffen: 5. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://omnibus.news/077-kwh-pro-kilometer>
- [29] Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH, „Batterie-Linienbus“. Zugriffen: 5. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://infoportal.mobil.nrw/technik/busse-mit-elektrischem-antrieb/batterie-linienbus.html>
- [30] NOW GmbH, „StandortTOOL“. Zugriffen: 9. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://standorttool.de/>
- [31] „StandortTOOL“. Zugriffen: 9. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://standorttool.de/standorttool>
- [32] Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, „Das Deutschlandnetz“. [Online]. Verfügbar unter: <https://nationale-leitstelle.de/deutschlandnetz/>
- [33] IP SYSCON, „Solarpotenzialkataster Landkreis Lichtenfels“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vianovis.net/lkr-lichtenfels/>
- [34] Deutscher Bundestag, *Bundesimmissionsschutzgesetz*. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/>
- [35] Freistaat Bayern, *Bayerische Bauordnung*. 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBO>
- [36] Rauminformationssystem Bayern (RISBY), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, „Georeferenzierte Daten der Region Oberfranken-West des Regionalplans der enthaltenen Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Windkraftanlagen (Stand 18.10.2024)“. 18. Oktober 2024.
- [37] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Statistik kommunal Bayern“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.statistik.bayern.de/produkte/statistik_kommunal/index.html
- [38] Bayerische Landesamt für Umwelt, „Abfallbilanz Bayern“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.abfallbilanz.bayern.de/>
- [39] S. Kopp-Assenmacher, O. Holm, P. Quicker, und E. (Hrsg.) Thomé-Kozmiensky, *Verwertung von Klärschlamm*. Nietwerder: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2020.
- [40] „GEMIS download - IINAS - DE“. 2021. Zugriffen: 11. Januar 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://iinas.org/gemis-download-121.html>
- [41] BMWK, „Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie: NWS 2023“. 7. März 2025. Zugriffen: 7. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/DE/20/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- [42] Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V., „Wasserstoff-Kernnetz“. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>
- [43] *Verordnung zur Neufassung der Siebenunddreißigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes(Verordnung zur Anrechnung von strombasierten Kraftstoffen und mitverarbeiteten biogenen Ölen auf die Treibhausgasquote): 37. BImSchV*. 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_37_2024/BJNR0830A0024.html
- [44] Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, L-2985 Luxemburg, *Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184 der Kommission vom 10. Februar 2023 zur Ergänzung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates durch die Festlegung einer Unionsmethode mit detaillierten Vorschriften für die Erzeugung*

- flüssiger oder gasförmiger erneuerbarer Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs für den Verkehr.* 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1184>
- [45] T. Gollwitzer u. a., „NEW HyPerspectives“, Jan. 2023. Zugriffen: 7. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://wasserstoff.new-perspektiven.de/wp-content/uploads/2023/07/20230705_NEW_Abschlussbericht-HyPerspectives-Web-DS-mit-Anhaengen.pdf
- [46] A. Brinner und Witt Ulrike, „Elektrolyse – Basics III: Funktionsprinzip der Elektrolyse“. Zugriffen: 7. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.zsw-bw.de/uploads/media/20210331_ZSW_Elektrolyse_Basics_III_Funktionsprinzip.pdf
- [47] T. Schmidt, *Wasserstofftechnik: Grundlagen, Systeme, Anwendung, Wirtschaft*. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [48] *Stadtwerk Haßfurth GmbH (2023) Sonne, Wind & mehr.*
- [49] Verdict Media Limited, „Graforce Develops Plasma Electrolysis Technology for Green Hydrogen Production“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.naval-technology.com/research-reports/graforce-develops-plasma-electrolysis-technology-for-green-hydrogen-production/>
- [50] blueFLUX, „Ein neues Level der natürlichen Kreislaufwirtschaft.: Wert schaffen – aus jeglicher Art von organischen Abfällen.“ 7. März 2025. Zugriffen: 7. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bluefluxenergy.com/wp-content/uploads/2024/05/Produkt-Broschuere-blueFLUX-H2_DE.pdf
- [51] A. Gradel, „Bio-to-X - Wasserstoff aus Biogas“. 14. November 2022.
- [52] BtX energy GmbH, „BioH2Ref - Dezentrale Wasserstoffaufbereitung von Biogas durch Dampfreformierung - Ein BMWK-gefördertes Verbundvorhaben“. Zugriffen: 20. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://btx-energy.de/projekte/bioh2ref/>
- [53] M. Kuhnert und FORVIA, „Hydrogen Storage Container“. 8. Dezember 2022.
- [54] Anlagenbau Neundörfer GmbH, „Trailerabfüllung Hydros spider“. 23. April 2021.
- [55] LENK, „Förderinstrumente im Bereich Wasserstoff“. Zugriffen: 7. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lenk.bayern.de/themen/energiewende/doc/Foerderinstrumente_fuer_den_Bereich_Wasserstoff_Juni_2024.pdf
- [56] „Bayerisches Förderprogramm zum Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.verkuendung-bayern.de/baymb/2023-437>
- [57] Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien, „Bundesförderung Industrie und Klimaschutz“. Zugriffen: 7. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.klimaschutz-industrie.de/foerderung/>
- [58] BMWK, „Klimaschutzverträge - ein neues Förderinstrument“. Zugriffen: 7. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.klimaschutzvertraege.info/>
- [59] Bayerwerk Netz GmbH, „Baukostenzuschuss 2024“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bayernwerk-netz.de/content/dam/revu-global/bayernwerk-netz/files/energie-anschiessen/anschluss-mittel-und-hochspannung/bayernwerk-netz-baukostenzuschuss-vorlaeufig-2024.pdf>
- [60] Stadtwerke Lichtenfels, „Gebühren: Wasser & Abwasser“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.stadtwerke-lichtenfels.de/wasser/gebuehren.html>
- [61] GvW Graf von Westphalen Rechtsanwälte Steuerberater Partnerschaft mbB, „Umlagen, Abgaben, Steuern und Entgelte bei dem Strombezug für die Wasserstoffherzeugung in Elektrolyseuren“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gvw.com/aktuelles/blog/detail/umlagen-abgaben-steuern-und-entgelte-bei-dem-strombezug-fuer-die-wasserstoffherzeugung-in-elektrolyseuren>

- [62] Dennis Kornbluh, „How much does oxygen cost?“ [Online]. Verfügbar unter: <https://highvolumeoxygen.com/how-much-does-oxygen-cost/>
- [63] F. Hönig, G. D. Rupakula, D. Duque-Gonzalez, M. Ebert, und U. Blum, „Enhancing the Levelized Cost of Hydrogen with the Usage of the Byproduct Oxygen in a Wastewater Treatment Plant“, *Energies*, Bd. 16, Nr. 12, Art. Nr. 12, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16124829.
- [64] emobility.energy GmbH, „THG-Quote: Preisentwicklung und aktueller Preis“. Zugegriffen: 16. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.emobility.energy/thg/thg-quote-preisentwicklung?seo_lead=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS98MTc0NDgxODE3MDU0OA%3D%3D#
- [65] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, *Richtlinie für Beihilfen für Unternehmen in Sektoren beziehungsweise Teilsektoren, bei denen angenommen wird, dass angesichts der mit den EU-ETS-Zertifikaten verbundene-n Kosten, die auf den Strompreis abgewälzt werden, ein erhebliches Risiko der Verla-gerung von CO2-Emissionen besteht (Beihilfen für indirekte CO2-Kosten) für die Ab-rechnungsjahre 2023 bis 2030*, 13. März 2024.
- [66] Europäische Kommission, *Leitlinien für bestimmte Beihilfemaßnahmen im Zusammenhang mit dem System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten nach 2021*, 2021.

Anhang

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

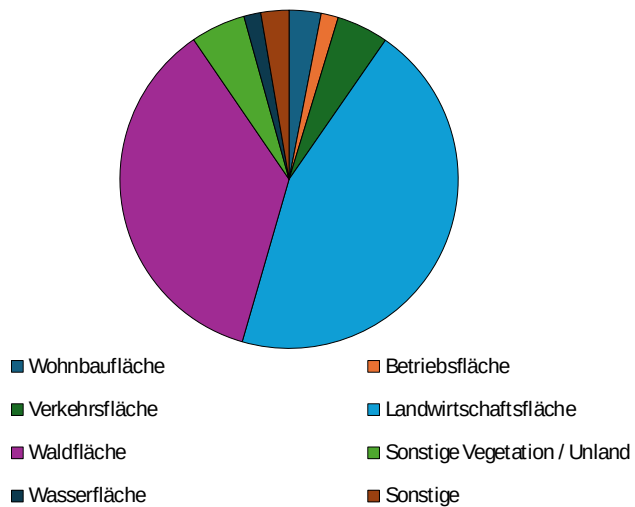
Besiedlung

Einwohner	EW	66.741
Gebietsfläche	ha	51.245
Einwohnerdichte	EW/km ²	130

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	1.564
Betriebsfläche	842
Verkehrsfläche	2.536
Landwirtschaftsfläche	22.971
Waldfläche	18.441
Sonstige Vegetation / Unland	2.683
Wasserfläche	831
Sonstige	1.376
Summe	51.245

Flächenverteilung

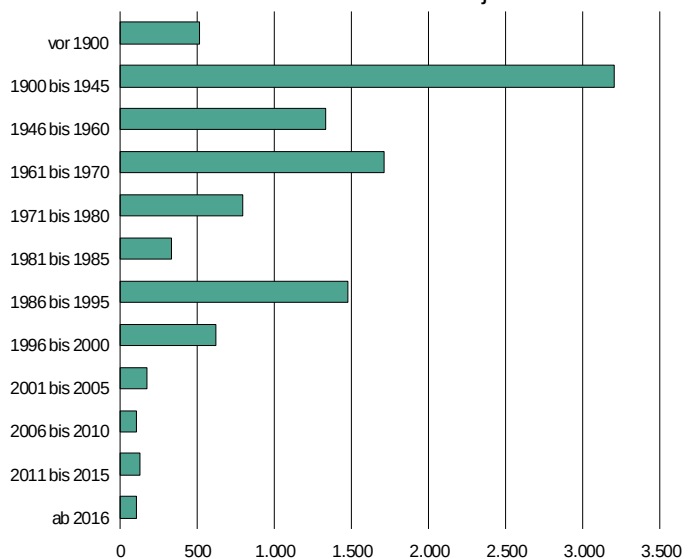
**Wohnbestand**

Anzahl Wohngebäude	-	20.153
Anzahl Wohnungen	-	33.198
Wohnfläche	m ²	3.563.889

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	515
1900 bis 1945	-	3.207
1946 bis 1960	-	1.335
1961 bis 1970	-	1.712
1971 bis 1980	-	795
1981 bis 1985	-	337
1986 bis 1995	-	1.475
1996 bis 2000	-	623
2001 bis 2005	-	173
2006 bis 2010	-	105
2011 bis 2015	-	132
ab 2016	-	105

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ Biomasse-KWK

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ KWK (konventionell):

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

**³⁾ Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ Sonstiges

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ Grüne Gase Importe

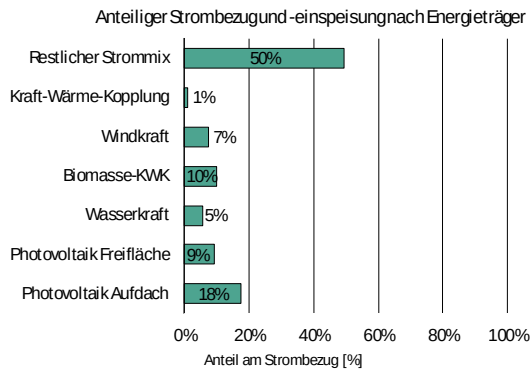
Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ Wärmepumpen

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

Strom

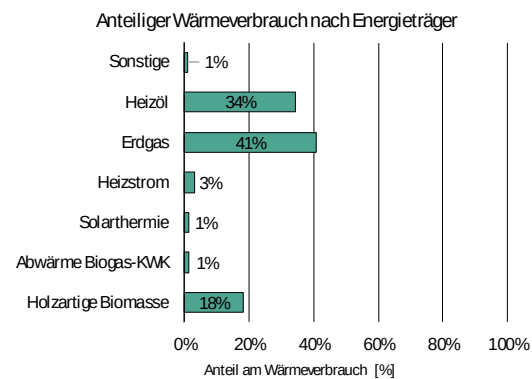
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	75.290.307
Kommunale Liegenschaften	6.295.694
Wirtschaft	226.702.318
Gesamt	308.288.319



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	152.858.592
Photovoltaik Aufdach	53.994.629
Photovoltaik Freifläche	28.281.840
Wasserkraft	16.670.748
Biomasse-KWK ¹⁾	30.945.882
Windkraft	22.965.493
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	2.803.607
Restlicher Strommix	152.626.120
Gesamt	308.288.319

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	636.219.850
Kommunale Liegenschaften	22.523.806
Wirtschaft	155.298.252
Gesamt	814.041.908



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	169.614.182
Holzartige Biomasse	147.291.314
Abwärme Biogas-KWK	11.000.000
Solarthermie	11.322.869
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	25.635.516
Fossile Energieträger	618.792.210
Erdgas	330.810.670
Heizöl	279.893.570
Sonstige ⁴⁾	8.087.970
Gesamt	814.041.908

Verkehr

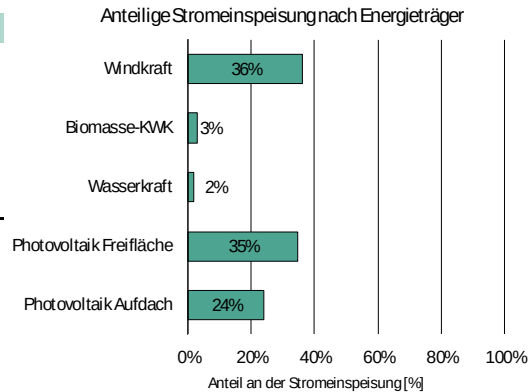
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	20.863.750
restliche Energieträger	685.121.510
Gesamt	705.985.261

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	145.820
Wärmeverbrauch	184.602
Verkehr	233.501
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	841
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-72.302
Gesamt	492.463

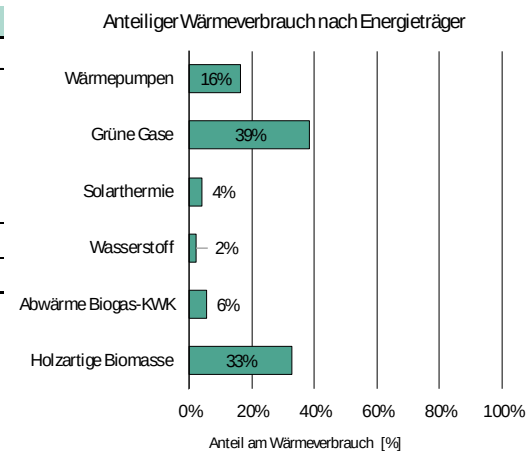
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	238.936.201
Photovoltaik Freifläche	345.215.377
Wasserkraft	19.171.360
Biomasse-KWK ¹⁾	30.945.882
Windkraft	360.000.000
Gesamt	994.268.820



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	449.933.864
Holzartige Biomasse	176.749.576
Abwärme Biogas-KWK	31.148.254
Wasserstoff	11.854.698
Solarthermie	22.267.695
Grüne Gase Importe ⁵⁾	207.913.641
Wärmepumpen ⁶⁾	88.590.807
Fossile Energieträger	0
Gesamt	538.524.671



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	172.802.835
Wasserstoff	13.679.202
restliche Energieträger	161.693.441
Gesamt	348.175.478

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	9.804
Wärmeverbrauch	14.573
Verkehr	58.568
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-31.817
Gesamt	51.129

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	1.193.069.467
Energieerzeugung erneuerbare Energien	1.432.347.986

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

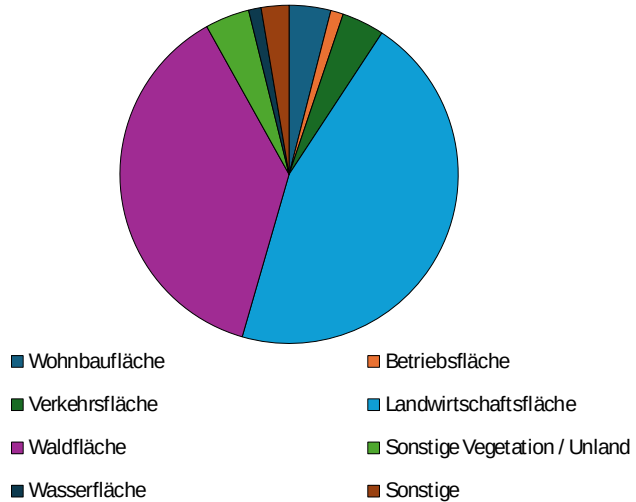
Besiedlung

Einwohner	EW	5.456
Gebietsfläche	ha	3.290
Einwohnerdichte	EW/km ²	166

Flächenverteilung

Flächenverteilung	ha
Wohnbaufläche	131
Betriebsfläche	40
Verkehrsfläche	134
Landwirtschaftsfläche	1.488
Waldfläche	1.232
Sonstige Vegetation / Unland	139
Wasserfläche	40
Sonstige	87
Summe	3.290

Flächenverteilung



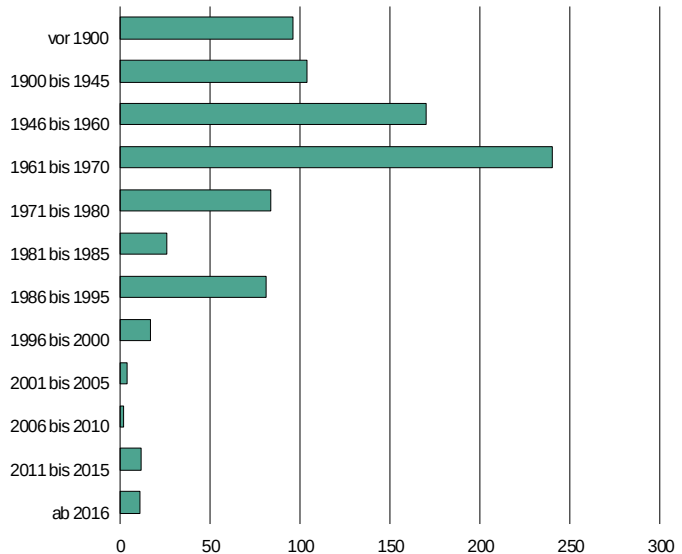
Wohnbestand

Anzahl Wohngebäude	-	1.606
Anzahl Wohnungen	-	2.611
Wohnfläche	m ²	279.905

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	96
1900 bis 1945	-	104
1946 bis 1960	-	170
1961 bis 1970	-	240
1971 bis 1980	-	84
1981 bis 1985	-	26
1986 bis 1995	-	81
1996 bis 2000	-	17
2001 bis 2005	-	4
2006 bis 2010	-	2
2011 bis 2015	-	12
ab 2016	-	11

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ **Biomasse-KWK**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ **KWK (konventionell):**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

³⁾ **Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ **Sonstiges**

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ **Grüne Gase Importe**

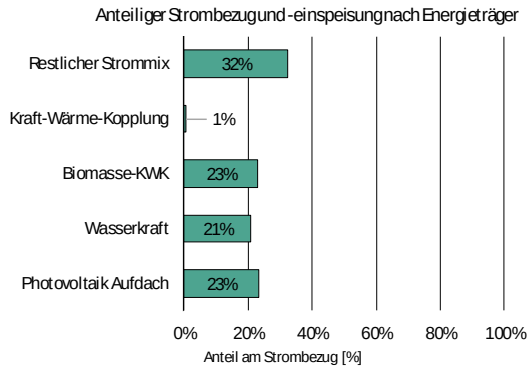
Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ **Wärmepumpen**

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

Strom

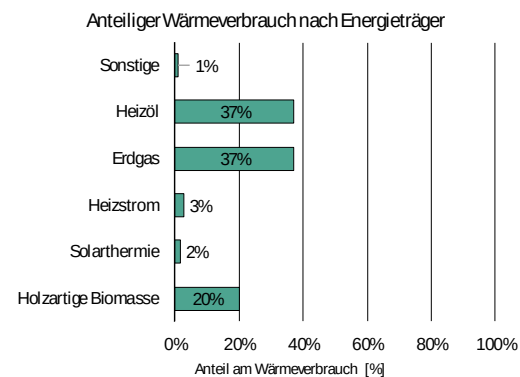
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	6.014.404
Kommunale Liegenschaften	958.391
Wirtschaft	11.410.779
Gesamt	18.383.574



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	12.330.623
Photovoltaik Aufdach	4.262.573
Photovoltaik Freifläche	0
Wasserkraft	3.837.138
Biomasse-KWK ¹⁾	4.230.912
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	115.035
Restlicher Strommix	5.937.916
Gesamt	18.383.574

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	52.466.968
Kommunale Liegenschaften	1.674.657
Wirtschaft	7.082.660
Gesamt	61.224.284



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	13.274.911
Holzartige Biomasse	12.244.857
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	1.030.055
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	1.769.213
Fossile Energieträger	46.180.160
Erdgas	22.780.284
Heizöl	22.787.633
Sonstige ⁴⁾	612.243
Gesamt	61.224.284

Verkehr

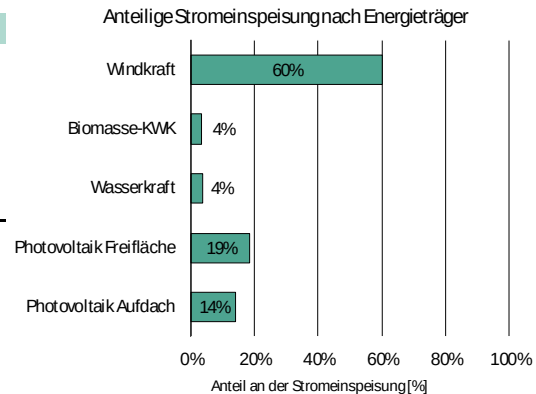
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	1.777.995
restliche Energieträger	59.308.801
Gesamt	61.086.796

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	8.695
Wärmeverbrauch	13.839
Verkehr	20.200
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	35
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-5.832
Gesamt	36.937

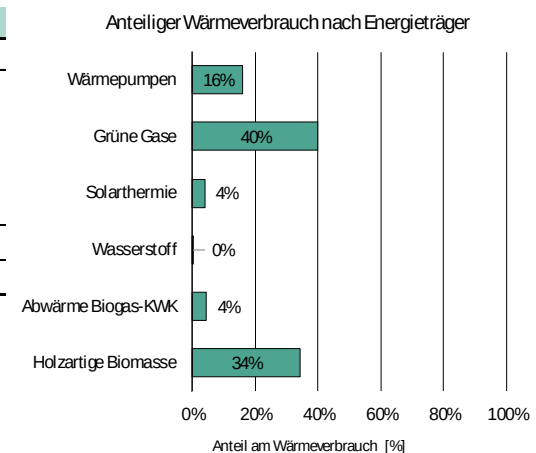
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	16.970.041
Photovoltaik Freifläche	22.321.200
Wasserkraft	4.412.709
Biomasse- KWK ¹⁾	4.230.912
Windkraft	72.000.000
Gesamt	119.934.862



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	35.775.370
Holzartige Biomasse	14.693.828
Abwärme Biogas- KWK	1.905.464
Wasserstoff	202.606
Solarthermie	1.836.344
Grüne Gase Importe ⁵⁾	17.137.127
Wärmepumpen ⁶⁾	6.940.596
Fossile Energieträger	0
Gesamt	42.715.966



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	14.952.113
Wasserstoff	1.183.620
restliche Energieträger	13.990.850
Gesamt	30.126.584

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	576
Wärmeverbrauch	1.166
Verkehr	5.068
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-3.838
Gesamt	2.971

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	90.832.548
Energieerzeugung erneuerbare Energien	155.507.625

Ist-Situation

3 Kläranlagen der Größenklasse 1

Anlagenspezifikationen Altenkunstadt OT Spiesberg

Ausbaugröße 100 EW

Kläranlage: SBR-Anlage

Klärschlammmenge im Mittel: keine Daten vorhanden

Klärschlammverwertung

Absaugung der SBR-Anlagen, Klärschlamm wird in der Kläranlage AZV Kunstadt mitbehandelt

Lage der Kläranlagen



Luftbild der Kläranlage Altenkunstadt OT Spiesberg



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Altenkunstadt ist überwiegend an die Kläranlage AZV Kunstadt angeschlossen
- Keine Entwässerung an den Kläranlagen möglich

Szenarien der Klärschlamm entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

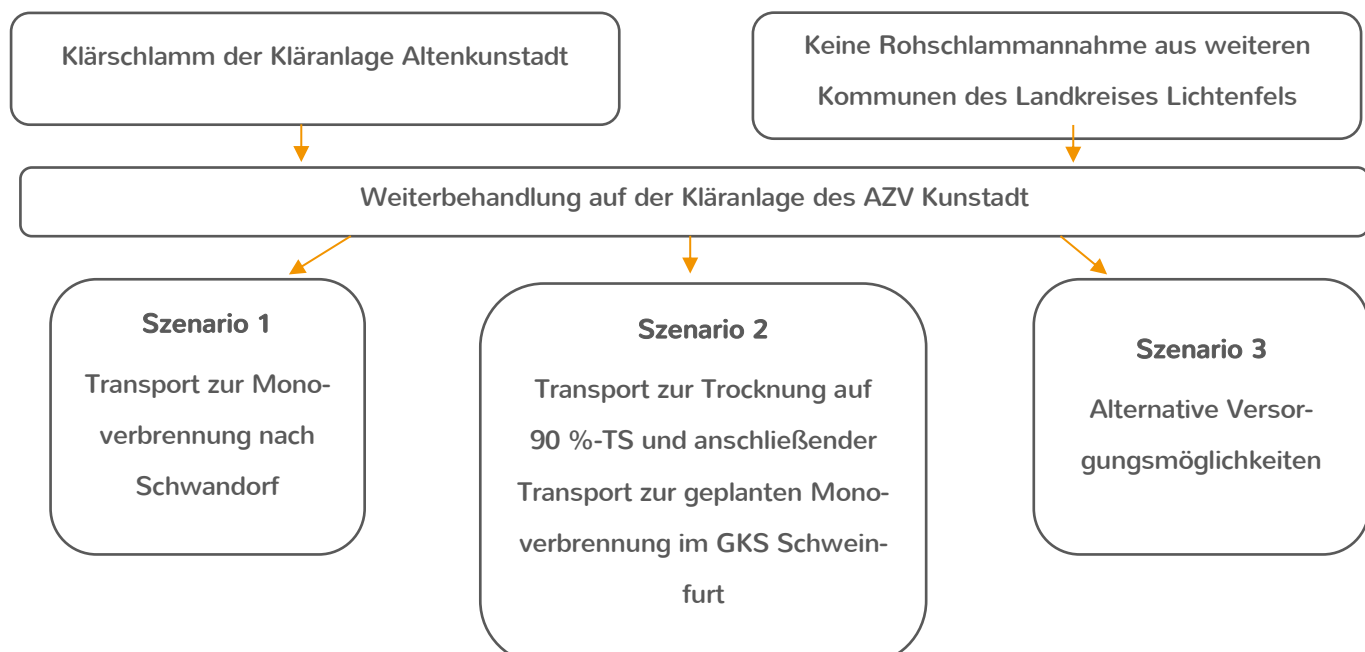
Bedeutung der Szenarien für Altenkunstadt

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Dies ist auf keiner Kläranlage in der Gemeinde Altenkunstadt möglich. Aktuell wird der Klärschlamm der SBR-Anlagen abgesaugt und in der Kläranlage AZV Kunstadt mitbehandelt.

Mit der Annahme, dass künftig nicht mit landwirtschaftlicher Ausbringung geplant werden kann, werden die 3 Kläranlagen in Altenkunstadt auch künftig auf die Weiterbehandlung auf anderen Kläranlagen angewiesen sein.

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und Monoverbrennung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In Szenario 1 wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmeequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (Szenario 3). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstofferzeugungsanlagen. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für die Gemeinde Altenkunstadt

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und hocheffizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizsystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Mittelschule - Kindergarten	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Mittelschule - Kordigasthalle - Kindergarten (Baierdorfer Straße) - Kindergarten (Dr.-Martin-Luther-Straße) - Feuerwehrhaus Strössendorf	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Gemeinde Altenkunstadt ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten mehrere Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, die sich potenziell für die Errichtung von Wärmenetzen oder kleineren Wärmeverbundlösungen eignen. Diese sollten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliche Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte: - Gewerbegebiet - Gebiet zentral ausgehend von Marktplatz entlang Langheimer Straße, Rechtsanwalt-Krauß-Straße und Klosterstraße Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Altenkunstadt vorangetrieben werden.	Kommune
4	Aktive Nutzung der Windkraftpotenziale in Altenkunstadt	Im Gemeindegebiet Altenkunstadt befinden sich laut Regionalem Planungsverband ausgewiesene Vorrangflächen für Windkraft. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde hier ein technisches Potenzial für bis zu 9 Windkraftanlagen à 7,2 MW mit einem jährlichen Stromertrag von rund 129,6 Mio. kWh ermittelt. Vor dem Hintergrund der bundesweiten Flächenziele gemäß Windan-Land-Gesetz und der gelockerten Abstandsregelungen in Bayern wird empfohlen, dass sich die Gemeinde frühzeitig aktiv mit den Potenzialflächen auseinandersetzt, um die Planungshoheit zu wahren und lokale Wertschöpfung zu sichern. Dazu zählt unter anderem die Kontaktaufnahme mit Projektentwicklern, die Abstimmung mit dem Regionalwerk sowie die Berücksichtigung von Kriterien zur Flächennutzung, Bürgerbeteiligung und finanziellen Teilhabe in kommunale Entscheidungsprozesse.	Kommune / Regionalwerk

5	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Altenkunstadt	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Gemeindegebiet Altenkunstadt identifiziert. Insgesamt wurden rund 249 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Altenkunstadt ein realistisches Ausbauziel von rund 22 Hektar, auf denen jährlich etwa 22 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

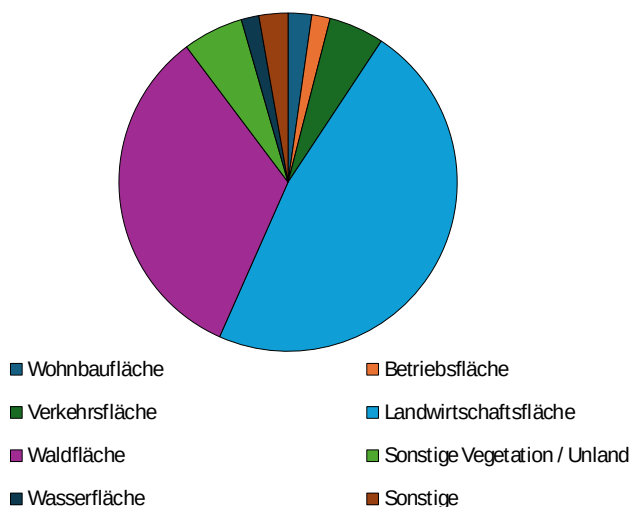
Besiedlung

Einwohner	EW	10.481
Gebietsfläche	ha	9.951
Einwohnerdichte	EW/km ²	105

Flächenverteilung

Flächenverteilung	ha
Wohnbaufläche	224
Betriebsfläche	175
Verkehrsfläche	526
Landwirtschaftsfläche	4.711
Waldfläche	3.295
Sonstige Vegetation / Unland	576
Wasserfläche	168
Sonstige	276
Summe	9.951

Flächenverteilung



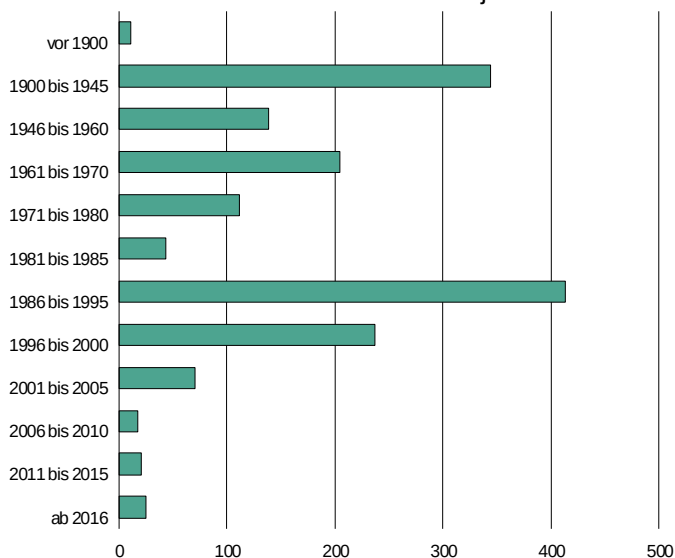
Wohnbestand

Anzahl Wohngebäude	-	3.003
Anzahl Wohnungen	-	5.521
Wohnfläche	m ²	560.843

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	11
1900 bis 1945	-	344
1946 bis 1960	-	138
1961 bis 1970	-	204
1971 bis 1980	-	112
1981 bis 1985	-	43
1986 bis 1995	-	413
1996 bis 2000	-	237
2001 bis 2005	-	70
2006 bis 2010	-	17
2011 bis 2015	-	21
ab 2016	-	25

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

- 1) Biomasse-KWK** Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas
- 2) KWK (konventionell):** Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken
- 3) Wärmepumpen/ Stromheizungen** Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.
- 4) Sonstiges** Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie
- 5) Grüne Gase Importe** Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.
- 6) Wärmepumpen** Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

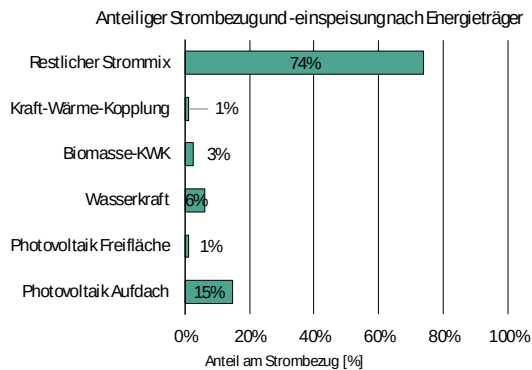
Bad Staffelstein

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

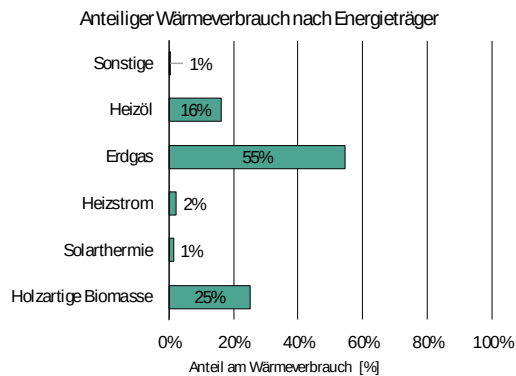
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	10.976.262
Kommunale Liegenschaften	1.314.369
Wirtschaft	42.783.834
Gesamt	55.074.464



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	13.683.828
Photovoltaik Aufdach	8.042.753
Photovoltaik Freifläche	725.013
Wasserkraft	3.456.386
Biomasse-KWK ¹⁾	1.459.676
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	659.032
Restlicher Strommix	40.731.604
Gesamt	55.074.464

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	94.621.731
Kommunale Liegenschaften	3.907.255
Wirtschaft	42.871.635
Gesamt	141.400.621



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	37.433.624
Holzartige Biomasse	35.350.155
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	2.083.469
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	3.232.903
Fossile Energieträger	100.734.094
Erdgas	77.091.026
Heizöl	22.936.065
Sonstige ⁴⁾	707.003
Gesamt	141.400.621

Verkehr

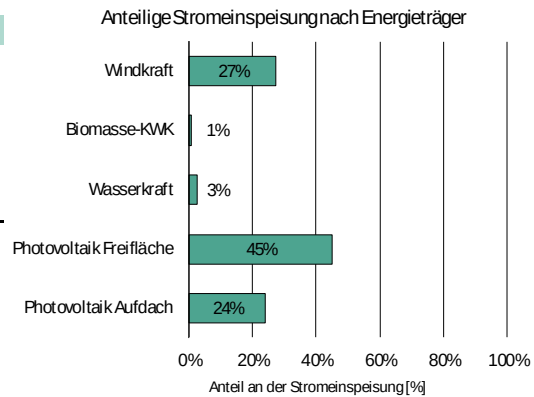
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	3.190.123
restliche Energieträger	101.857.188
Gesamt	105.047.310

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	26.050
Wärmeverbrauch	28.129
Verkehr	34.756
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	198
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-6.472
Gesamt	82.661

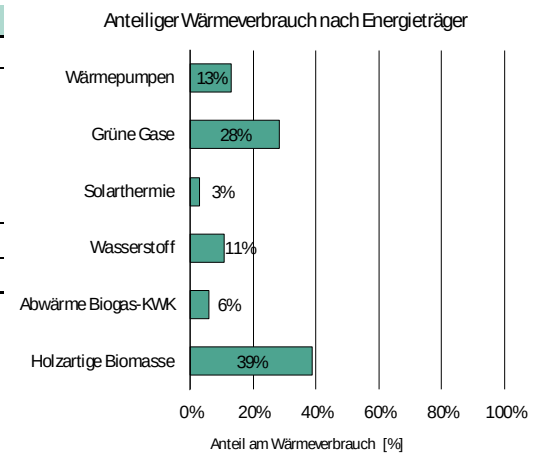
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	37.834.599
Photovoltaik Freifläche	70.659.900
Wasserkraft	3.974.844
Biomasse- KWK ¹⁾	1.459.676
Windkraft	43.200.000
Gesamt	157.129.019



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	94.661.156
Holzartige Biomasse	42.420.186
Abwärme Biogas- KWK	6.366.945
Wasserstoff	11.652.092
Solarthermie	3.311.761
Grüne Gase Importe ⁵⁾	30.910.172
Wärmepumpen ⁶⁾	14.414.187
Fossile Energieträger	0
Gesamt	109.075.342



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	25.712.255
Wasserstoff	2.035.401
restliche Energieträger	24.059.229
Gesamt	51.806.885

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	2.203
Wärmeverbrauch	2.599
Verkehr	8.715
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-5.028
Gesamt	8.488

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	229.728.942
Energieerzeugung erneuerbare Energien	240.138.083

Ist-Situation

1 Kläranlagen der Größenklasse 4

Anlagenspezifikationen Bad Staffelstein

Ausbaugröße 26.000 EW

Kläranlage: Belebungsanlage

Klärschlammmenge im Mittel

ca. 12.500 m³ bei ca. 2,5 % TS

(ca. 310 t_{TM}/a)

Stationäre Entwässerung

Klärschlammverwertung

Thermische Verwertung im MHKW

Coburg

Lage der Kläranlage



Luftbild der Kläranlage Bad Staffelstein



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Hohe Abwassertemperaturen wegen Thermalbad und Wäscherei
- Hoher Salzgehalt im Abwasser wegen Thermalbad
- Machbarkeitsstudie für Klärschlammfäulung soll durchgeführt werden

Szenarien der Klärschlamm Entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

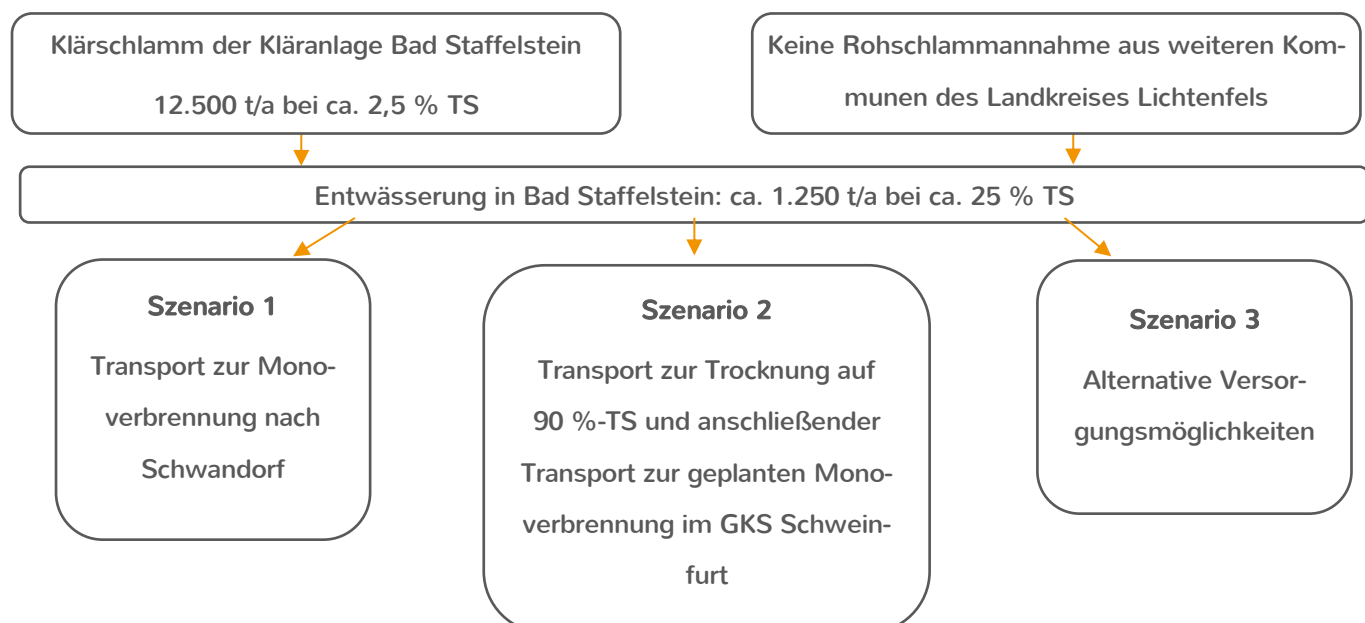
Bedeutung der Szenarien für Bad Staffelstein

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese wird auf der Kläranlage in Bad Staffelstein bereits stationär mit einer Schneckenpresse umgesetzt.

Es besteht die Möglichkeit einer Klärschlammfäulung auf der Kläranlage Bad Staffelstein zu errichten. Es wird empfohlen, dies im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu prüfen. Um die Auslastung zu erhöhen, könnten theoretisch Klärschlamm von anderen Kläranlagen im Landkreis angeliefert werden, bspw. Ebensfeld, Redwitz und Weismain. Die Umsetzbarkeit müsste vorab im Detail geprüft werden (siehe beiliegender Bericht).

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und Monoverbrennung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In **Szenario 1** wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (**Szenario 3**). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstoffherstellungsanlagen. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für die Stadt Bad Staffelstein

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizsystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Ivo-Hennemann Grundschule - Heimatmuseum Bad Staffelstein - Feuerwehr-Gerätehaus Unnersdorf	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Hallenbad AquaRiese - Zweckverband Maintal - Kindertagesstätte Schönbrunn - Kläranlage Bad Staffelstein - Feuerwehrhaus Bad Staffelstein	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Stadt Bad Staffelstein ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten mehrere Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, die sich potenziell für die Errichtung von Wärmenetzen oder kleineren Wärmeverbundlösungen eignen. Diese sollten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliche Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte: - Stadtkern rund um Rathaus - Wohngebiet an der Angerstraße Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Bad Staffelstein vorangetrieben werden.	Kommune
4	Machbarkeitsstudie zur Klärschlammfaulung und nachhaltige Energieoptimierung der Kläranlage Bad Staffelstein	Die Kläranlage Bad Staffelstein beheizt aktuell schon die Räumlichkeiten auf der Kläranlage mit einer Wärmepumpe, die die Abwärme aus der Zuluftleitung der Gebläse nutzt. Es sollte eine Machbarkeitsstudie zur Klärschlammfaulung durchgeführt werden. Hier ist ggf. die Klärschlammannahme von anderen Kläranlagen möglich (bspw. Ebensfeld, Redwitz, Weismain). Die Temperatur im Faulturm liegt in der Regel bei ca. 38 °C, was für einen Einsatz einer Wärmepumpe spricht. Hier kann die Abwärme aus dem Abwasser, welche mit Hilfe eines Wärmetauschers gewonnen wird, für die Wärmepumpe genutzt werden. Somit könnte die höhere Temperatur aus dem BHKW, welches Strom und Wärme aus dem Faulgas erzeugt, beispielsweise in einem Wärmenetz genutzt werden. Dies muss vorab im Detail geprüft werden. Zudem empfiehlt sich die Installation von PV-Anlagen auf den Dächern und/oder Freiflächen zur Eigenstromnutzung auf der Kläranlage.	Kommune

5	Wärmeenergie aus Obermain Therme	In der Stadt Bad Staffelstein wird seit vielen Jahren erfolgreich Thermalwasser aus rund 1.000 Metern Tiefe mit Temperaturen von bis zu 52 °C zur balneologischen Nutzung in der Obermain Therme eingesetzt. Das geförderte Wasser wird nach der Nutzung in den Thermenbecken auf etwa 25 °C heruntergekühlt und aufbereitet. Die dabei entstehende Abwärme wird teilweise intern zur Beckenbeheizung genutzt. Eine darüber hinausgehende Nutzung – etwa zur Versorgung angrenzender Gebäude oder zur Einspeisung in ein Wärmenetz – wurde im Rahmen des Energienutzungsplans sowie in Gesprächen mit der Obermain Therme geprüft. Aufgrund der geringen nutzbaren Restwärmemenge sowie des hohen Salzgehalts des Wassers wurde die bestehende Geothermiebohrung als nicht wirtschaftlich nutzbar für eine kommunale Wärmeversorgung eingestuft. Allerdings handelt es sich hierbei lediglich um eine erste Abschätzung. Eine gemeinsame Abstimmung mit Fachexperten, dem Regionalwerk und den Verantwortlichen der Obermain Therme wird empfohlen, um die Situation vertieft zu bewerten und gegebenenfalls eine Detailprüfung hinsichtlich einer potenziellen weiteren Wärmenutzung – beispielsweise zur Einspeisung in ein Wärmenetz – vorzunehmen.	Kommune, Regionalwerk
6	Aktive Nutzung der Windkraftpotenziale in Bad Staffelstein	Im Stadtgebiet Bad Staffelstein befinden sich laut Regionalem Planungsverband ausgewiesene Vorrangflächen für Windkraft. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde hier ein technisches Potenzial für bis zu 6 Windkraftanlagen à 7,2 MW mit einem jährlichen Stromertrag von rund 86,4 Mio. kWh ermittelt. Vor dem Hintergrund der bundesweiten Flächenziele gemäß Windan-Land-Gesetz und der gelockerten Abstandsregelungen in Bayern wird empfohlen, dass sich die Gemeinde frühzeitig aktiv mit den Potenzialflächen auseinandersetzt, um die Planungshoheit zu wahren und lokale Wertschöpfung zu sichern. Dazu zählt unter anderem die Kontaktaufnahme mit Projektentwicklern, die Abstimmung mit dem Regionalwerk sowie die Berücksichtigung von Kriterien zur Flächennutzung, Bürgerbeteiligung und finanziellen Teilhabe in kommunale Entscheidungsprozesse.	Kommune / Regionalwerk
7	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Bad Staffelstein	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Stadtgebiet Bad Staffelstein identifiziert. Insgesamt wurden rund 751 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Bad Staffelstein ein realistisches Ausbauziel von rund 70 Hektar, auf denen jährlich etwa 70 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk

Bilanzjahr: 2021

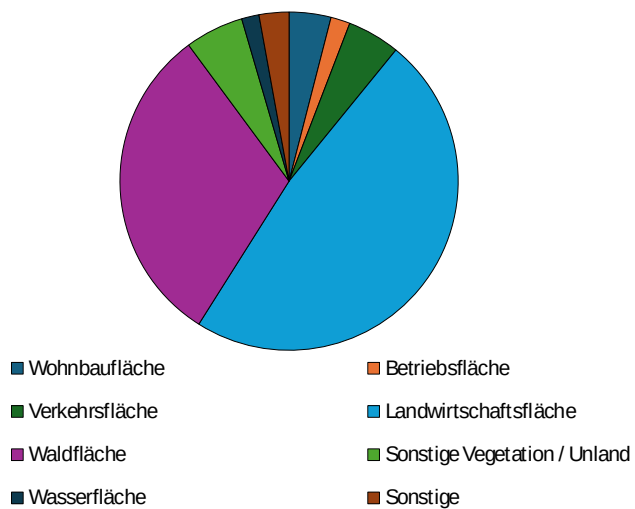
Besiedlung

Einwohner	EW	6.449
Gebietsfläche	ha	4.060
Einwohnerdichte	EW/km ²	159

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	162
Betriebsfläche	75
Verkehrsfläche	204
Landwirtschaftsfläche	1.952
Waldfläche	1.255
Sonstige Vegetation / Unland	227
Wasserfläche	68
Sonstige	116
Summe	4.060

Flächenverteilung

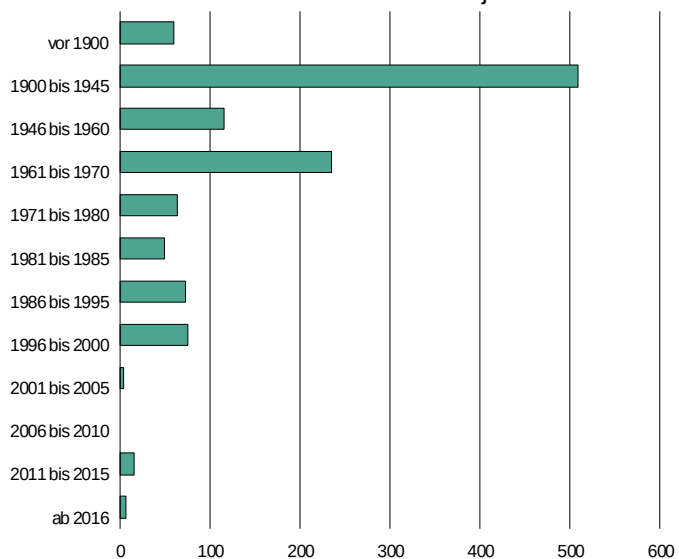
**Wohnbestand**

Anzahl Wohngebäude	-	1.966
Anzahl Wohnungen	-	3.135
Wohnfläche	m ²	338.552

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	60
1900 bis 1945	-	509
1946 bis 1960	-	115
1961 bis 1970	-	235
1971 bis 1980	-	64
1981 bis 1985	-	50
1986 bis 1995	-	73
1996 bis 2000	-	76
2001 bis 2005	-	4
2006 bis 2010	-	0
2011 bis 2015	-	16
ab 2016	-	7

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ Biomasse-KWK

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ KWK (konventionell):

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

**³⁾ Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ Sonstiges

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ Grüne Gase Importe

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ Wärmepumpen

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

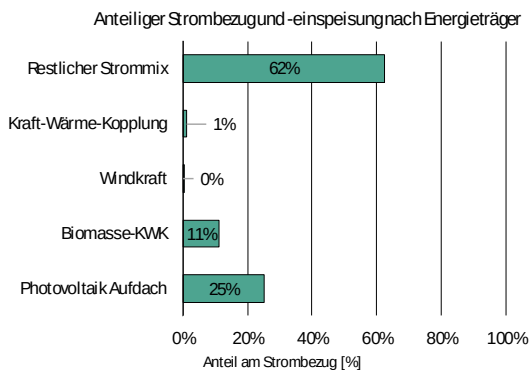
Burgkunstadt

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

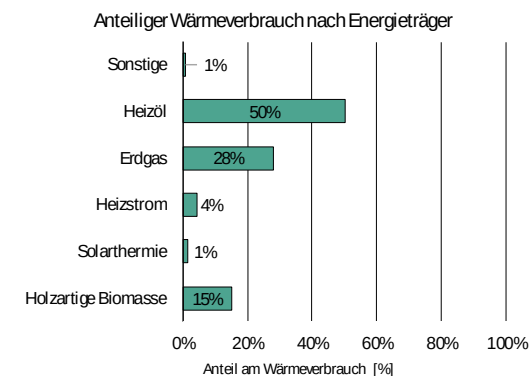
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	7.525.940
Kommunale Liegenschaften	252.648
Wirtschaft	9.570.200
Gesamt	17.348.789



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	6.352.236
Photovoltaik Aufdach	4.390.833
Photovoltaik Freifläche	0
Wasserkraft	0
Biomasse-KWK ¹⁾	1.960.826
Windkraft	577
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	188.225
Restlicher Strommix	10.808.328
Gesamt	17.348.789

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	64.282.861
Kommunale Liegenschaften	3.517.606
Wirtschaft	10.274.727
Gesamt	78.075.194



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	12.800.810
Holzartige Biomasse	11.711.279
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	1.089.531
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	3.328.893
Fossile Energieträger	61.945.491
Erdgas	21.860.532
Heizöl	39.304.207
Sonstige ⁴⁾	780.752
Gesamt	78.075.194

Verkehr

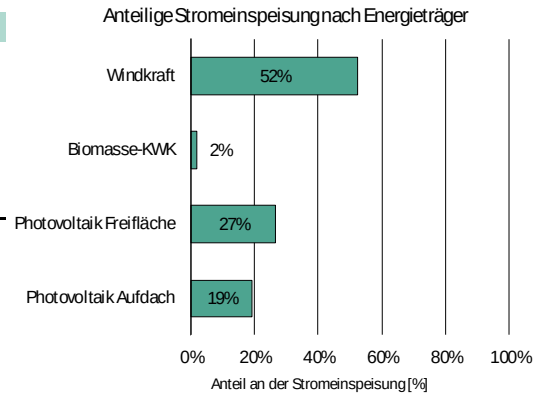
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	2.192.193
restliche Energieträger	76.498.765
Gesamt	78.690.958

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	8.206
Wärmeverbrauch	19.522
Verkehr	26.007
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	56
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-3.005
Gesamt	50.787

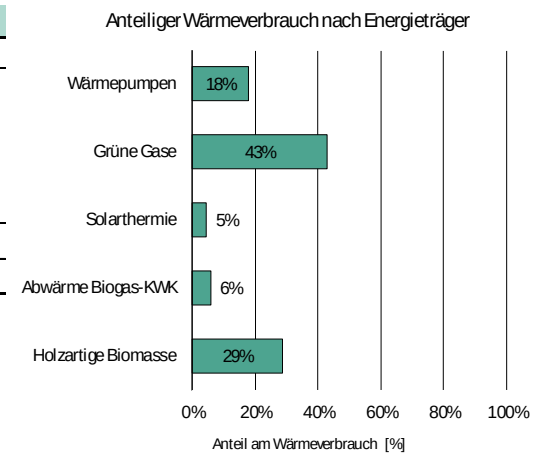
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	21.114.659
Photovoltaik Freifläche	29.280.750
Wasserkraft	0
Biomasse- KWK ¹⁾	1.960.826
Windkraft	57.600.000
Gesamt	109.956.235



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	40.262.007
Holzartige Biomasse	14.053.535
Abwärme Biogas- KWK	2.929.208
Wasserstoff	0
Solarthermie	2.249.900
Grüne Gase Importe ⁵⁾	21.029.364
Wärmepumpen ⁶⁾	8.758.358
Fossile Energieträger	0
Gesamt	49.020.365



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	19.261.055
Wasserstoff	1.524.720
restliche Energieträger	18.022.773
Gesamt	38.808.547

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	553
Wärmeverbrauch	1.382
Verkehr	6.528
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-3.519
Gesamt	4.944

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	105.099.981
Energieerzeugung erneuerbare Energien	150.218.242

Ist-Situation

1 Kläranlage der Größenklasse 4

Anlagenspezifikationen Burgkunstadt

Ausbaugröße 20.000 EW

Kläranlage: Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung

Klärschlammmenge im Mittel ca. 9.000 m³ bei ca. 2,5 % TS (ca. 225 t_{TM}/a)

Stationäre Entwässerung

Klärschlammverwertung

Thermische Verwertung über Bayernwerk

Lage der Kläranlage



Luftbild der Kläranlage AZV Kunstadt



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung - www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Es wird Belebtschlamm von der Brauerei Leikheim angenommen, ca. 4.500 m³/a bei 2,5 % TS

Szenarien der Klärschlamm entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage in Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

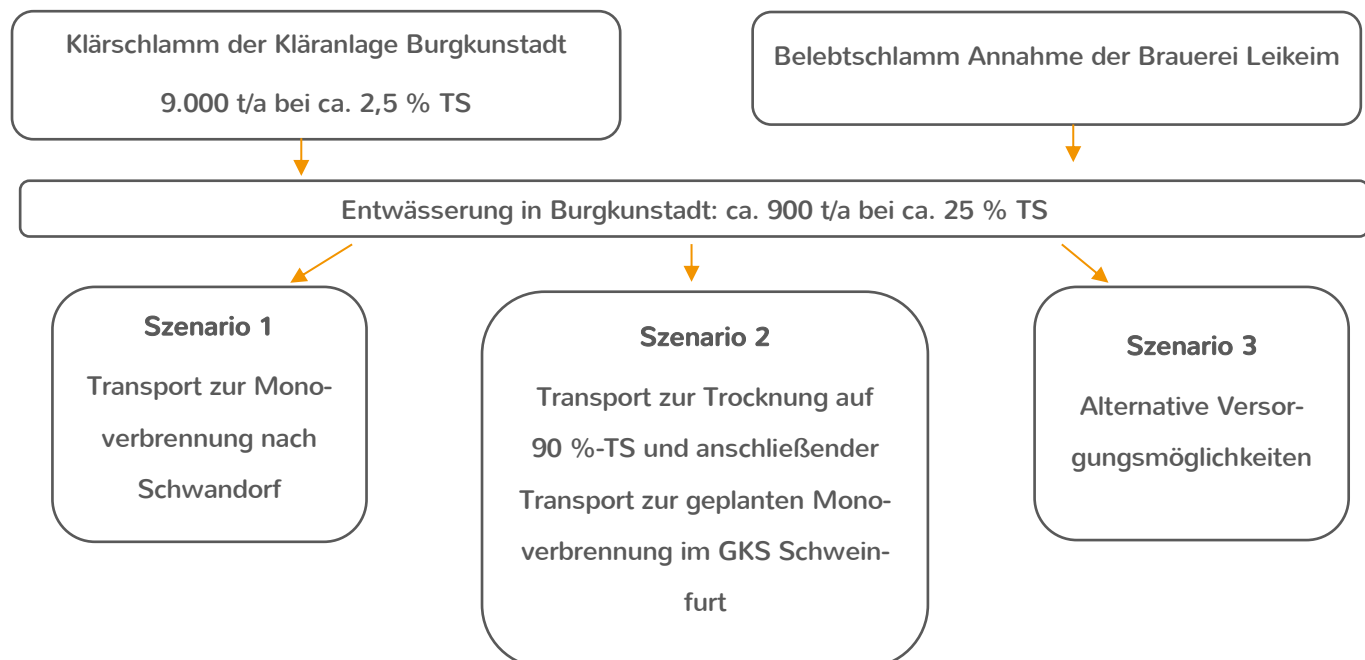
Bedeutung der Szenarien für Burgkunstadt

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese wird auf der Kläranlage in Burgkunstadt bereits stationär mit einer Schneckenpresse umgesetzt. An die Kläranlage Burgkunstadt sind Teile der Gemeinde Altenkunstadt mit angeschlossen. Zusätzlich leitet die Brauerei Leikheim ihr bereits vorgereinigtes Abwasser in die Kläranlage und liefert Belebtschlamm an.

Das Klärgas, welches durch die Klärschlammfäulung entsteht, wird mittels eines BHKW zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt. Im Rahmen des Konzeptes wurden potenzielle Klärschlamm-mengen zur Klärschlamm-mannahme in der Fäulung berücksichtigt. Vor einer Umsetzung müsste dies technisch geprüft und mit den Akteuren abgestimmt werden.

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und Monoverbrennung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In **Szenario 1** wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Verwertungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (**Szenario 3**). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstoffherstellung. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für die Stadt Burgkunstadt

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizungssystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Grundschule - Evangelischer Kindergarten - Realschule - Gymnasium - Regens-Wagner-Förderschule	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Freiwillige Feuerwehr - Evangelischer Kindergarten - Realschule - Gymnasium - Obermainhalle	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Stadt Burgkunstadt ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten mehrere Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, die sich potenziell für die Errichtung von Wärmenetzen oder kleineren Wärmeverbundlösungen eignen. Diese sollten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliche Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte: - Gewerbegebiet "Seewiese" - Stadtkern (Gebiet rund um Regens-Wagner-Platz und Gebiet rund um Grundschule) Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Burgkunstadt vorangetrieben werden.	Kommune
4	Prüfung der Faulturmkapazitäten und nachhaltige Energieoptimierung der Kläranlage Burgkunstadt	Es sollte auf der Kläranlage Burgkunstadt geprüft werden, ob noch Kapazitäten im Faulturm zur Verfügung stehen, um evtl. weitere Klärschlämme (bspw. Redwitz) anzunehmen. Zudem empfiehlt sich die Installation zusätzlicher PV-Anlagen, sowohl auf Dächern als auch auf Freiflächen zur Eigenstromnutzung, zu prüfen. Zukünftig kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Alternativ kann auch der Faulturm mit der Wärme aus der Wärmepumpe beheizt werden. Da die Temperatur im Faulturm bei ca. 38 °C liegt, spricht das für den Einsatz einer Wärmepumpe. Die Wärme vom BHKW könnte beispielsweise zur Klärschlamm-trocknung oder Einspeisung in ein Wärmenetz genutzt werden. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune

5	Prüfung einer Wärmeverbundlösung für Schulberg und Gymnasium	Im Zuge der geplanten Neubauten und Sanierungen am Schulberg – einschließlich der Friedrich-Baur-Grundschule, des neuen Kinderhauses sowie der perspektivisch vorgesehenen Stadthalle – sollte die Möglichkeit einer gemeinsamen Wärmeverbundlösung geprüft werden. Aufgrund der räumlichen Nähe bietet sich auch die Einbindung des benachbarten Gymnasiums an, um Synergien zu nutzen und eine effiziente Wärmeversorgung öffentlicher Einrichtungen zu ermöglichen. Im Rahmen der künftigen kommunalen Wärmeplanung könnte zusätzlich untersucht werden, ob auch die dazwischenliegenden Wohngebäude an ein mögliches Wärmenetz angeschlossen werden können, um die Wirtschaftlichkeit und Reichweite der Versorgung weiter zu erhöhen.	Kommune, Regionalwerk
6	Aktive Nutzung der Windkraftpotenziale in Burgkunstadt	Im Stadtgebiet Burgkunstadt befinden sich laut Regionalem Planungsverband ausgewiesene Vorrangflächen für Windkraft. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde hier ein technisches Potenzial für bis zu 7 Windkraftanlagen à 7,2 MW mit einem jährlichen Stromertrag von rund 100,8 Mio. kWh ermittelt. Vor dem Hintergrund der bundesweiten Flächenziele gemäß Windan-Land-Gesetz und der gelockerten Abstandsregelungen in Bayern wird empfohlen, dass sich die Gemeinde frühzeitig aktiv mit den Potenzialflächen auseinandersetzt, um die Planungshoheit zu wahren und lokale Wertschöpfung zu sichern. Dazu zählt unter anderem die Kontaktaufnahme mit Projektentwicklern, die Abstimmung mit dem Regionalwerk sowie die Berücksichtigung von Kriterien zur Flächennutzung, Bürgerbeteiligung und finanziellen Teilhabe in kommunale Entscheidungsprozesse.	Kommune / Regionalwerk
7	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Burgkunstadt	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Stadtgebiet Burgkunstadt identifiziert. Insgesamt wurden rund 392 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Burgkunstadt ein realistisches Ausbauziel von rund 29 Hektar, auf denen jährlich etwa 29 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

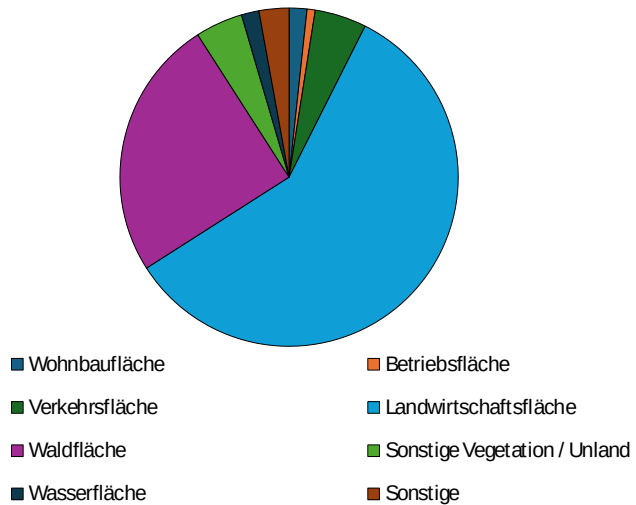
Besiedlung

Einwohner	EW	5.559
Gebietsfläche	ha	6.872
Einwohnerdichte	EW/km ²	81

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	117
Betriebsfläche	54
Verkehrsfläche	340
Landwirtschaftsfläche	4.022
Waldfläche	1.715
Sonstige Vegetation / Unland	312
Wasserfläche	115
Sonstige	197
Summe	6.872

Flächenverteilung



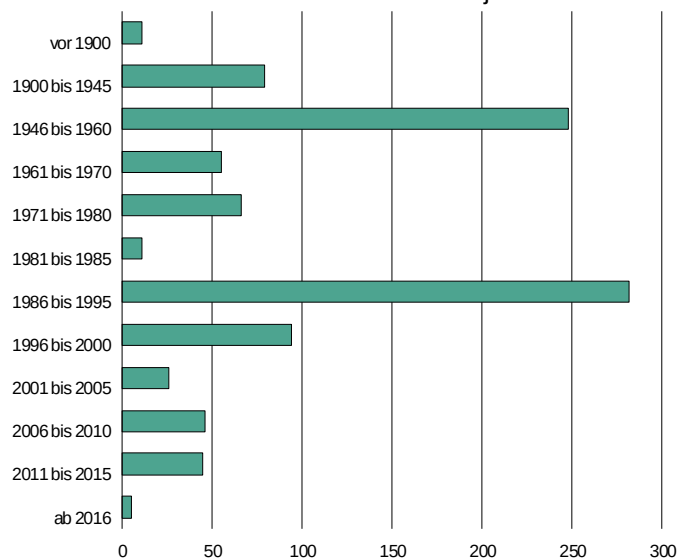
Wohnbestand

Anzahl Wohngebäude	-	1.730
Anzahl Wohnungen	-	2.644
Wohnfläche	m ²	302.830

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	11
1900 bis 1945	-	79
1946 bis 1960	-	248
1961 bis 1970	-	55
1971 bis 1980	-	66
1981 bis 1985	-	11
1986 bis 1995	-	282
1996 bis 2000	-	94
2001 bis 2005	-	26
2006 bis 2010	-	46
2011 bis 2015	-	45
ab 2016	-	5

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ **Biomasse-KWK**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ **KWK (konventionell):**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

³⁾ **Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ **Sonstiges**

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ **Grüne Gase Importe**

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ **Wärmepumpen**

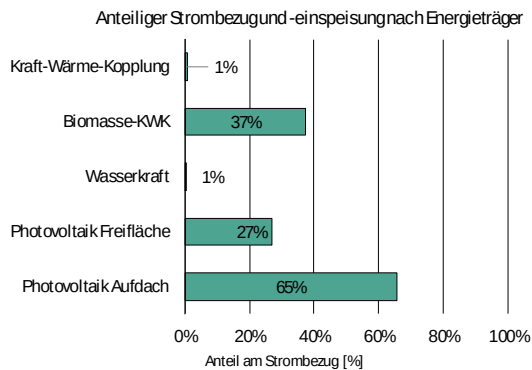
Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

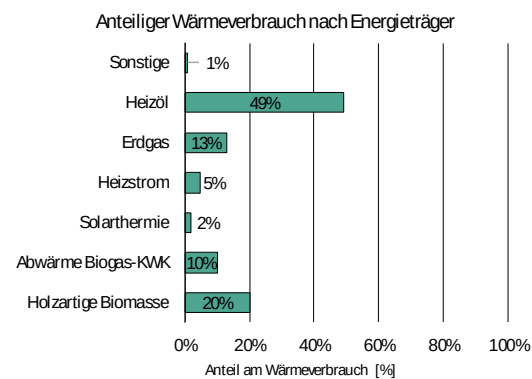
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	5.483.708
Kommunale Liegenschaften	418.050
Wirtschaft	9.616.464
Gesamt	15.518.222



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	20.241.718
Photovoltaik Aufdach	10.155.418
Photovoltaik Freifläche	4.192.713
Wasserkraft	87.299
Biomasse-KWK ¹⁾	5.806.288
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	125.140
Restlicher Strommix	0
Gesamt	15.518.222

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	47.919.045
Kommunale Liegenschaften	1.190.285
Wirtschaft	10.893.330
Gesamt	60.002.660



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	19.215.806
Holzartige Biomasse	12.000.532
Abwärme Biogas-KWK	6.000.000
Solarthermie	1.215.274
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	2.883.556
Fossile Energieträger	37.903.297
Erdgas	7.775.959
Heizöl	29.527.312
Sonstige ⁴⁾	600.027
Gesamt	60.002.660

Verkehr

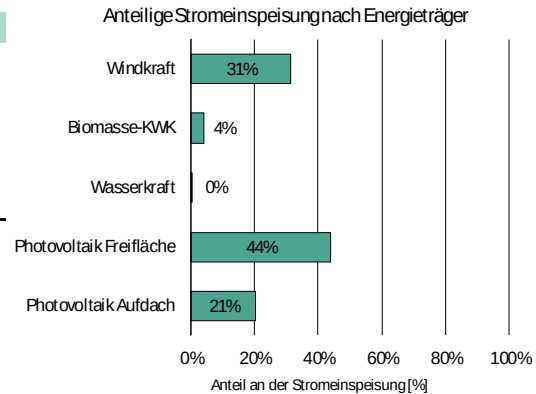
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	1.730.617
restliche Energieträger	57.074.390
Gesamt	58.805.007

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	7.340
Wärmeverbrauch	13.090
Verkehr	19.448
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	38
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-9.574
Gesamt	30.341

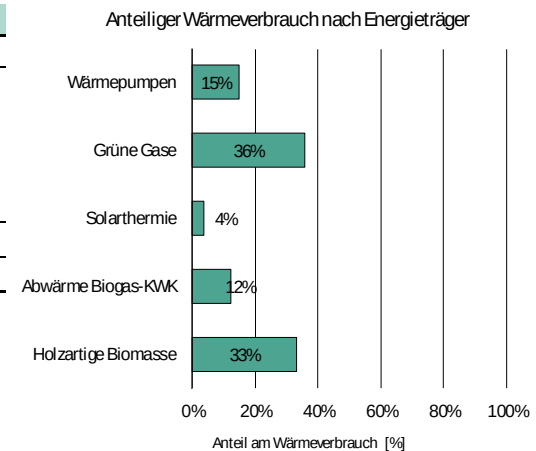
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	28.239.558
Photovoltaik Freifläche	60.335.250
Wasserkraft	100.394
Biomasse- KWK ¹⁾	5.806.288
Windkraft	43.200.000
Gesamt	137.681.490



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	36.980.116
Holzartige Biomasse	14.400.638
Abwärme Biogas- KWK	5.370.321
Wasserstoff	0
Solarthermie	1.677.167
Grüne Gase Importe ⁵⁾	15.531.990
Wärmepumpen ⁶⁾	6.526.326
Fossile Energieträger	0
Gesamt	43.506.441



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	14.393.603
Wasserstoff	1.139.408
restliche Energieträger	13.468.247
Gesamt	29.001.259

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	484
Wärmeverbrauch	1.232
Verkehr	4.878
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-4.406
Gesamt	2.189

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	87.645.858
Energieerzeugung erneuerbare Energien	174.661.606

Ist-Situation

2 Kläranlagen der Größenklasse 1 und 3

Anlagenspezifikationen Ebensfeld

Ausbaugröße 9.950 EW

Kläranlage: Belebungsanlage

Klärschlammmenge im Mittel ca. 9.000 m³
bei ca. 1,3 % TS (ca. 110 t_{TM}/a)

Stationäre Entwässerung

Klärschlammverwertung

Ausbringung des entwässerten Klärschlammes in der Landwirtschaft

Lage der Kläranlagen



Luftbild der Kläranlage Ebensfeld



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung - www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Rohschlammannahme der OT Kläranlage erfolgt in den Zulauf
- Planung Bau einer Faulung

Szenarien der Klärschlamm entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

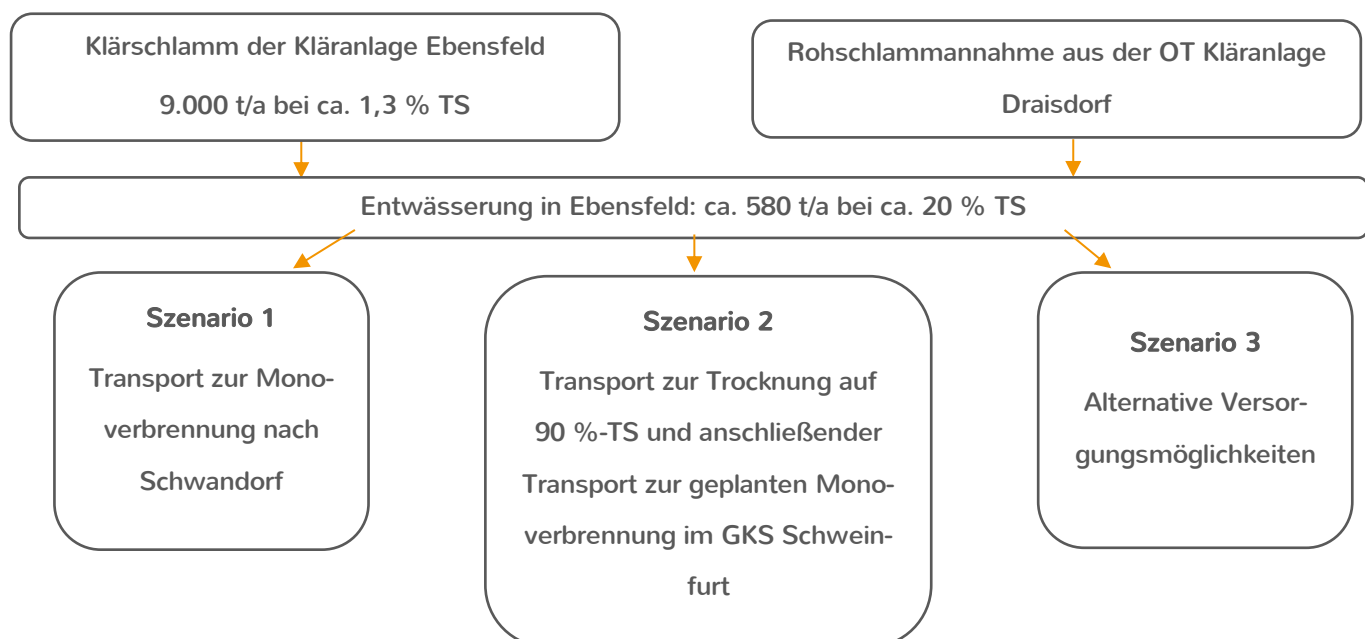
Bedeutung der Szenarien für Ebensfeld

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese wird auf der Kläranlage in Ebensfeld bereits stationär mit einer Schneckenpresse umgesetzt. Im Rahmen des Konzeptes wurden keine weiteren Klärschlammannahmen berücksichtigt.

Da die Biologie an ihre Grenzen stößt, wird überlegt eine Faulung oder ein weiteres Belebungsbecken zu errichten. Alternativ kann eine Klärschlammfaulung errichtet oder der Klärschlamm ggf. zur Ausfäulung an die Kläranlage Bad Staffelstein geliefert werden. (Dies wird im beiliegenden Bericht näher erläutert.)

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und Monoverbrennung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In Szenario 1 wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmeequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (Szenario 3). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstofferzeugungsanlagen. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für den Markt Ebensfeld

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizsystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Pater-Lunkenbein-Schule	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Pater-Lunkenbein-Schule - Rathaus - Bauhof - Kita Mainzwerge - FW-Haus Kleukheim	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für den Markt Ebensfeld ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten mehrere Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, die sich potenziell für die Errichtung von Wärmenetzen oder kleineren Wärmeverbundlösungen eignen. Diese sollten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliche Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte: - Gewerbegebiet Nord - Wohnquartier zwischen Kirche und Pater-Lunkenbein-Schule Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Ebensfeld vorangetrieben werden.	Kommune
4	Interkommunale Klärschlammverwertung und nachhaltige Energieoptimierung der Kläranlage	Die Kläranlage Ebensfeld verwertet den Klärschlamm derzeit noch in der Landwirtschaft. Hier sollte zukünftig eine gemeinsame interkommunale Verwertungslösung angestrebt werden. Zudem empfiehlt sich die Installation zusätzlicher PV-Anlagen, sowohl auf Dächern als auch auf Freiflächen zur Eigenstromnutzung, zu prüfen. Zukünftig kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune
5	Aktive Nutzung der Windkraftpotenziale in Ebensfeld	Im Gemeindegebiet Ebensfeld befinden sich laut Regionalem Planungsverband ausgewiesene Vorrangflächen für Windkraft. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde hier ein technisches Potenzial für bis zu 6 Windkraftanlagen à 7,2 MW mit einem jährlichen Stromertrag von rund 86,4 Mio. kWh ermittelt. Vor dem Hintergrund der bundesweiten Flächenziele gemäß Windan-Land-Gesetz und der gelockerten Abstandsregelungen in Bayern wird empfohlen, dass sich die Gemeinde frühzeitig aktiv mit den Potenzialflächen auseinandersetzt, um die Planungshoheit zu wahren und lokale Wertschöpfung zu sichern. Dazu zählt unter anderem die Kontaktaufnahme mit Projektentwicklern, die Abstimmung mit dem Regionalwerk sowie die Berücksichtigung von Kriterien zur Flächennutzung, Bürgerbeteiligung und finanziellen Teilhabe in kommunale Entscheidungsprozesse.	Kommune / Regionalwerk

6	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Ebensfeld	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Gemeindegebiet Ebensfeld identifiziert. Insgesamt wurden rund 1.072 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Ebensfeld ein realistisches Ausbauziel von rund 60 Hektar, auf denen jährlich etwa 60 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

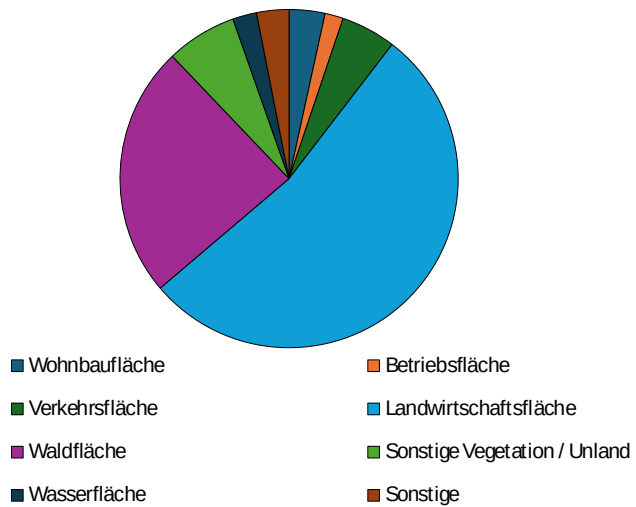
Besiedlung

Einwohner	EW	1.625
Gebietsfläche	ha	1.378
Einwohnerdichte	EW/km ²	118

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	47
Betriebsfläche	24
Verkehrsfläche	72
Landwirtschaftsfläche	735
Waldfläche	332
Sonstige Vegetation / Unland	93
Wasserfläche	32
Sonstige	43
Summe	1.378

Flächenverteilung

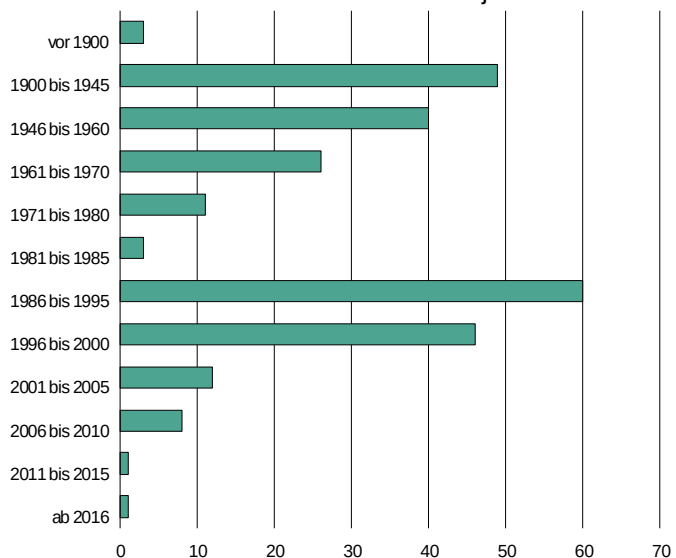
**Wohnbestand**

Anzahl Wohngebäude	-	528
Anzahl Wohnungen	-	751
Wohnfläche	m ²	85.622

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	3
1900 bis 1945	-	49
1946 bis 1960	-	40
1961 bis 1970	-	26
1971 bis 1980	-	11
1981 bis 1985	-	3
1986 bis 1995	-	60
1996 bis 2000	-	46
2001 bis 2005	-	12
2006 bis 2010	-	8
2011 bis 2015	-	1
ab 2016	-	1

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

1) Biomasse-KWK

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

2) KWK (konventionell):

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

**3) Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

4) Sonstiges

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

5) Grüne Gase Importe

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

6) Wärmepumpen

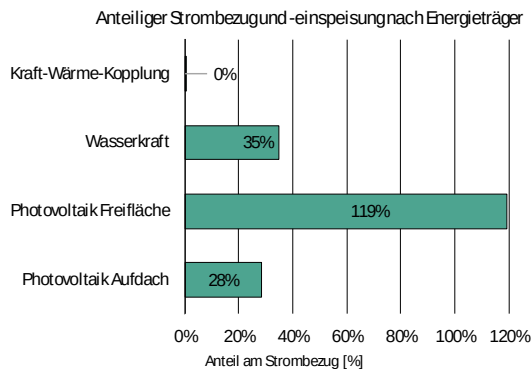
Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

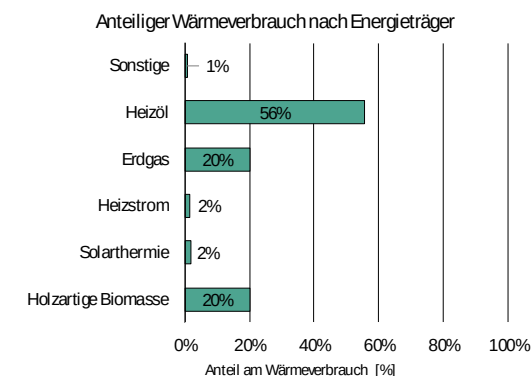
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	1.873.769
Kommunale Liegenschaften	402.954
Wirtschaft	2.216.219
Gesamt	4.492.941



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	8.197.458
Photovoltaik Aufdach	1.273.291
Photovoltaik Freifläche	5.363.670
Wasserkraft	1.560.497
Biomasse-KWK ¹⁾	0
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	12.401
Restlicher Strommix	0
Gesamt	4.492.941

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	14.605.954
Kommunale Liegenschaften	784.231
Wirtschaft	4.076.207
Gesamt	19.466.392



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	4.256.325
Holzartige Biomasse	3.893.278
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	363.047
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	301.799
Fossile Energieträger	14.908.268
Erdgas	3.908.793
Heizöl	10.804.811
Sonstige ⁴⁾	194.664
Gesamt	19.466.392

Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	402.735
restliche Energieträger	10.870.388
Gesamt	11.273.124

CO₂-Bilanz

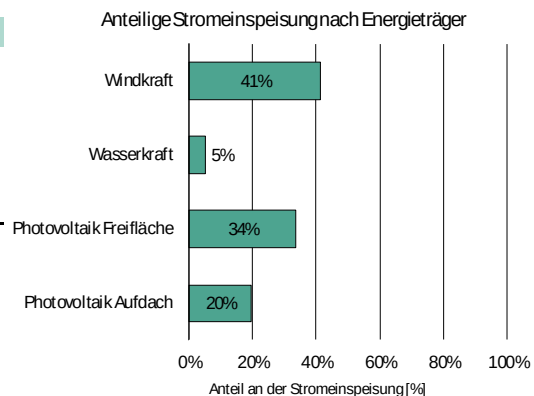
CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	2.125
Wärmeverbrauch	4.581
Verkehr	3.739
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	4
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-3.877
Gesamt	6.571

Potenzialanalyse

Zieljahr: 2040

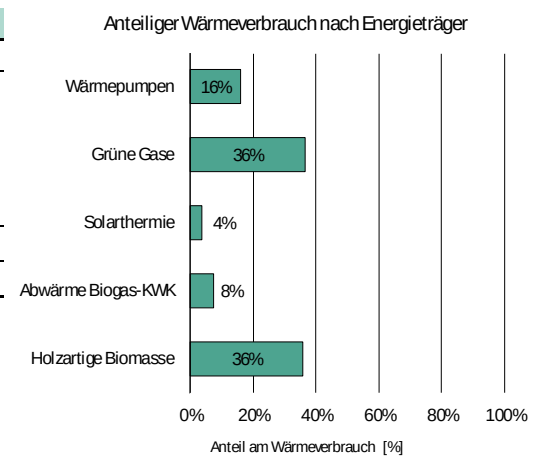
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	6.838.785
Photovoltaik Freifläche	11.682.577
Wasserkraft	1.794.572
Biomasse- KWK ¹⁾	0
Windkraft	14.400.000
Gesamt	34.715.933



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	10.931.947
Holzartige Biomasse	4.671.934
Abwärme Biogas- KWK	999.906
Wasserstoff	0
Solarthermie	511.208
Grüne Gase Importe ⁵⁾	4.748.899
Wärmepumpen ⁶⁾	2.082.231
Fossile Energieträger	0
Gesamt	13.014.178



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	2.759.304
Wasserstoff	218.429
restliche Energieträger	2.581.910
Gesamt	5.559.642

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	134
Wärmeverbrauch	359
Verkehr	935
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-1.111
Gesamt	318

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	22.766.565
Energieerzeugung erneuerbare Energien	45.647.880

Ist-Situation

1 Kläranlage der Größenklasse 2

Anlagenspezifikationen Hochstadt a. Main

Ausbaugröße 2.000 EW

Kläranlage: Belebungsanlage

Klärschlammmenge im Mittel ca. 900 m³ bei ca. 2,3 % TS (ca. 21 t_{TM}/a)

Klärschlammverwertung

Rohschlammlieferung an die Kläranlage Lichtenfels

Lage der Kläranlage



Luftbild der Kläranlage Hochstadt a. Main



Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Keine Entwässerung möglich, da kein Filtratwasserspeicher
- Hoher Fremdwasseranteil mit 68 %

Szenarien der Klärschlamm Entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage in Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

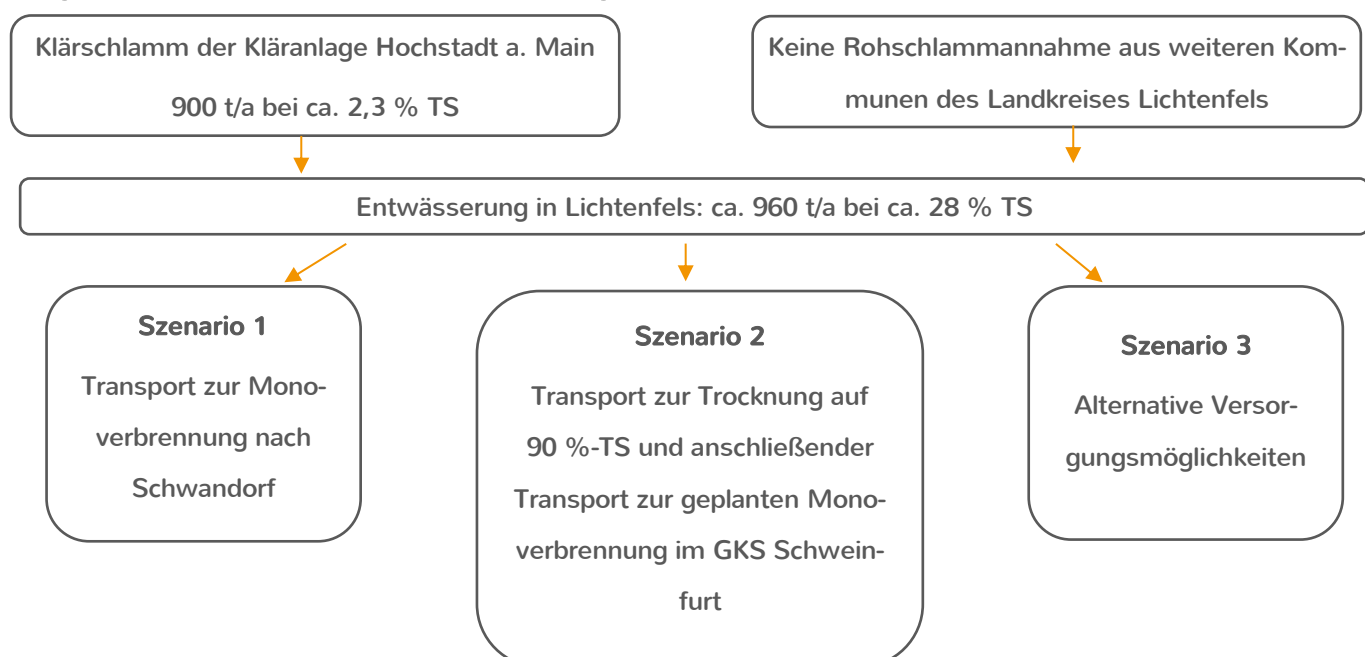
Bedeutung der Szenarien für Hochstadt a. Main

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese kann auf der Kläranlage Hochstadt a. Main nicht durchgeführt werden, da kein Filtratwasserspeicher vorhanden ist.

Im Rahmen des Konzeptes wurde keine Klärschlammannahme berücksichtigt.

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und Monoverbrennung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In **Szenario 1** wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (**Szenario 3**). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstoffherstellung. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für die Gemeinde Hochstadt am Main

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizsystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Rathaus & Kindergarten - Schule - Katzogelhalle - Alter Bauhof	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Kläranlage - Katzogelhalle - Grundschule - Rathaus und Kindergarten	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Gemeinde Hochstadt am Main ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten jedoch keine direkten Schwerpunktgebiete für Wärmenetze identifiziert werden. Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besteht die Chance, anhand aktualisierter Daten und der Einbindung relevanter Akteure eine präzisere Analyse durchzuführen. Durch die Berücksichtigung von Wärmeverbrauchsdaten aus Unternehmen, kommunalen Einrichtungen und privaten Haushalten ließe sich die Bewertung weiter verfeinern. Anhand zentraler Kennwerte, wie der Wärmebelegungs-dichte, könnten dennoch mögliche Potenziale für Wärmeverbundlösungen identifiziert werden. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Hochstadt am Main vorangetrieben werden.	Kommune
4	Reduzierung des Fremdwasseranteils und nachhaltige Energieoptimierung der Kläranlage Hochstadt a. Main	Die Kläranlage Hochstadt a. Main hat mit 68 % einen sehr hohen Fremdwasseranteil. Es empfiehlt sich zu ergründen, woher das Fremdwasser kommt, um diesen Anteil verringern zu können. Zudem sollte die Installation einer PV-Anlage auf dem Dach des Betriebsgebäudes zur Eigenstromnutzung geprüft werden. Zukünftig kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune
5	Aktive Nutzung der Windkraftpotenziale in Hochstadt am Main	Im Gemeindegebiet Hochstadt am Main befinden sich laut Regionalem Planungsverband ausgewiesene Vorrangflächen für Windkraft. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde hier ein technisches Potenzial für bis zu 2 Windkraftanlagen à 7,2 MW mit einem jährlichen Stromertrag von rund 28,2 Mio. kWh ermittelt. Vor dem Hintergrund der bundesweiten Flächenziele gemäß Windan-Land-Gesetz und der gelockerten Abstandsregelungen in Bayern wird empfohlen, dass sich die Gemeinde frühzeitig aktiv mit den Potenzialflächen auseinandersetzt, um die Planungshoheit zu wahren und lokale Wertschöpfung zu sichern. Dazu zählt unter anderem die Kontaktaufnahme mit Projektentwicklern, die Abstimmung mit dem Regionalwerk sowie die Berücksichtigung von Kriterien zur Flächennutzung, Bürgerbeteiligung und finanziellen Teilhabe in kommunale Entscheidungsprozesse.	Kommune / Regionalwerk

6	PV-Freiflächenanlagen – Bewertung weiterer Flächenpotenziale	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden für die Gemeinde Hochstadt a. Main keine weiteren Maßnahmen zur Entwicklung zusätzlicher Freiflächen-Photovoltaikflächen vorgeschlagen. Hintergrund ist, dass Hochstadt bereits über eine installierte Leistung verfügt, die das im ENP definierte technische Potenzial übersteigt. Die Maßnahme wird dennoch aufgeführt, um die Vorgehensweise transparent zu machen und die Vergleichbarkeit zwischen den Kommunen sicherzustellen. Weitere Projekte können bei lokalem Bedarf oder passenden Voraussetzungen dennoch initiiert werden.	

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

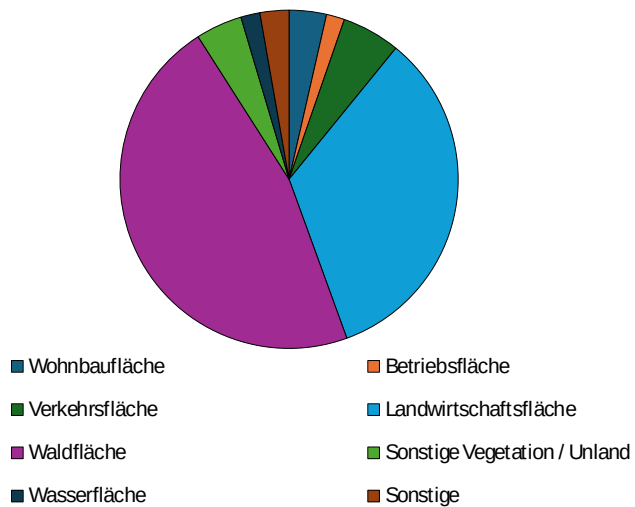
Besiedlung

Einwohner	EW	20.071
Gebietsfläche	ha	12.216
Einwohnerdichte	EW/km ²	164

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	436
Betriebsfläche	213
Verkehrsfläche	681
Landwirtschaftsfläche	4.101
Waldfläche	5.682
Sonstige Vegetation / Unland	543
Wasserfläche	223
Sonstige	338
Summe	12.216

Flächenverteilung



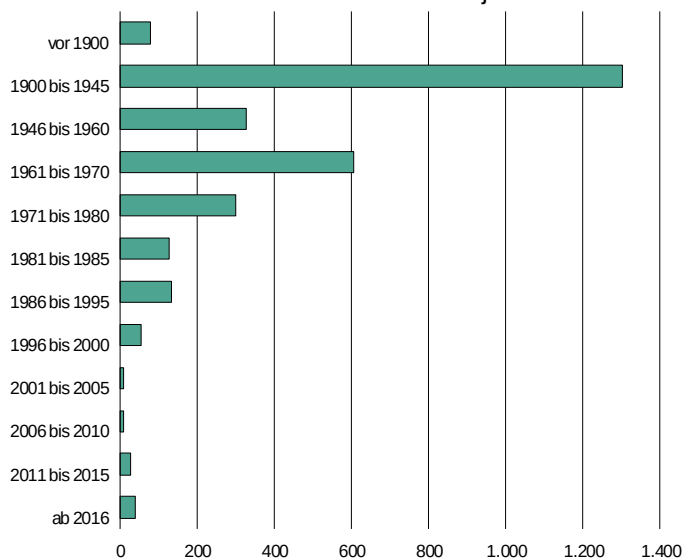
Wohnbestand

Anzahl Wohngebäude	-	5.750
Anzahl Wohnungen	-	10.339
Wohnfläche	m ²	1.073.233

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	80
1900 bis 1945	-	1.304
1946 bis 1960	-	326
1961 bis 1970	-	606
1971 bis 1980	-	301
1981 bis 1985	-	127
1986 bis 1995	-	133
1996 bis 2000	-	54
2001 bis 2005	-	10
2006 bis 2010	-	8
2011 bis 2015	-	27
ab 2016	-	40

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ **Biomasse-KWK**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ **KWK (konventionell):**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

³⁾ **Wärmepumpen/ Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ **Sonstiges**

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ **Grüne Gase Importe**

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ **Wärmepumpen**

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

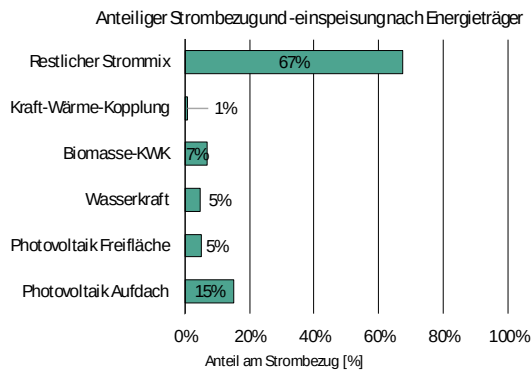
Lichtenfels

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

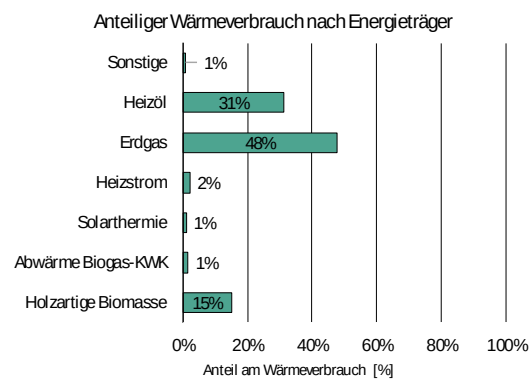
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	23.349.608
Kommunale Liegenschaften	769.768
Wirtschaft	68.181.569
Gesamt	92.300.945



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	29.545.441
Photovoltaik Aufdach	13.988.620
Photovoltaik Freifläche	4.777.848
Wasserkraft	4.520.861
Biomasse-KWK ¹⁾	6.258.112
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	700.723
Restlicher Strommix	62.054.781
Gesamt	92.300.945

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	193.903.457
Kommunale Liegenschaften	7.841.644
Wirtschaft	39.892.035
Gesamt	241.637.137



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	42.426.833
Holzartige Biomasse	36.245.571
Abwärme Biogas-KWK	3.500.000
Solarthermie	2.681.262
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	5.711.680
Fossile Energieträger	193.498.624
Erdgas	115.326.581
Heizöl	75.755.672
Sonstige ⁴⁾	2.416.371
Gesamt	241.637.137

Verkehr

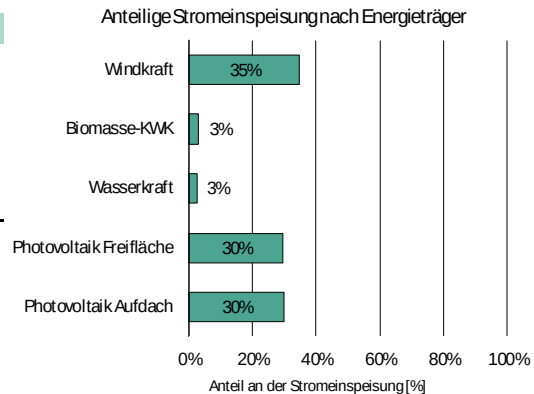
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	6.088.415
restliche Energieträger	195.678.706
Gesamt	201.767.121

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	43.658
Wärmeverbrauch	55.588
Verkehr	66.752
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	210
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-13.975
Gesamt	152.234

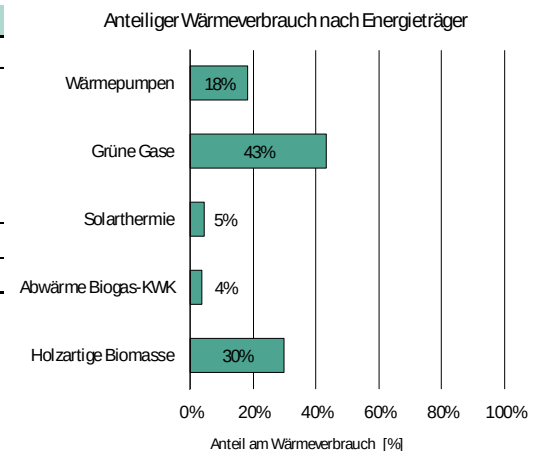
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	62.004.553
Photovoltaik Freifläche	61.516.800
Wasserkraft	5.198.990
Biomasse- KWK ¹⁾	6.258.112
Windkraft	72.000.000
Gesamt	206.978.455



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	119.346.298
Holzartige Biomasse	43.494.685
Abwärme Biogas- KWK	5.647.919
Wasserstoff	0
Solarthermie	6.786.621
Grüne Gase Importe ⁵⁾	63.417.073
Wärmepumpen ⁶⁾	26.670.029
Fossile Energieträger	0
Gesamt	146.016.327



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	49.386.202
Wasserstoff	3.909.449
restliche Energieträger	46.211.191
Gesamt	99.506.842

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	2.752
Wärmeverbrauch	4.071
Verkehr	16.739
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-6.623
Gesamt	16.938

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	331.512.979
Energieerzeugung erneuerbare Energien	326.324.753

Ist-Situation

7 Kläranlagen der Größenklasse 1 und 4

Anlagenspezifikationen Lichtenfels

Ausbaugröße 40.000 EW

Kläranlage: Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung

Klärschlammmenge im Mittel ca. 9.000 m³ bei ca. 3,0 % TS (ca. 270 t_{TM}/a)

Klärschlammverwertung

Rohschlammlieferung der OT-Kläranlagen

Thermische Verwertung im MHKW Coburg

Lage der Kläranlagen



Luftbild der Kläranlage Lichtenfels



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Klärschlammfäulung vorhanden
- Entwässerung mittels Zentrifuge
- Klärschlamm Trocknung von 1997 (aktuell nicht in Betrieb)

Szenarien der Klärschlammentsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage in Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

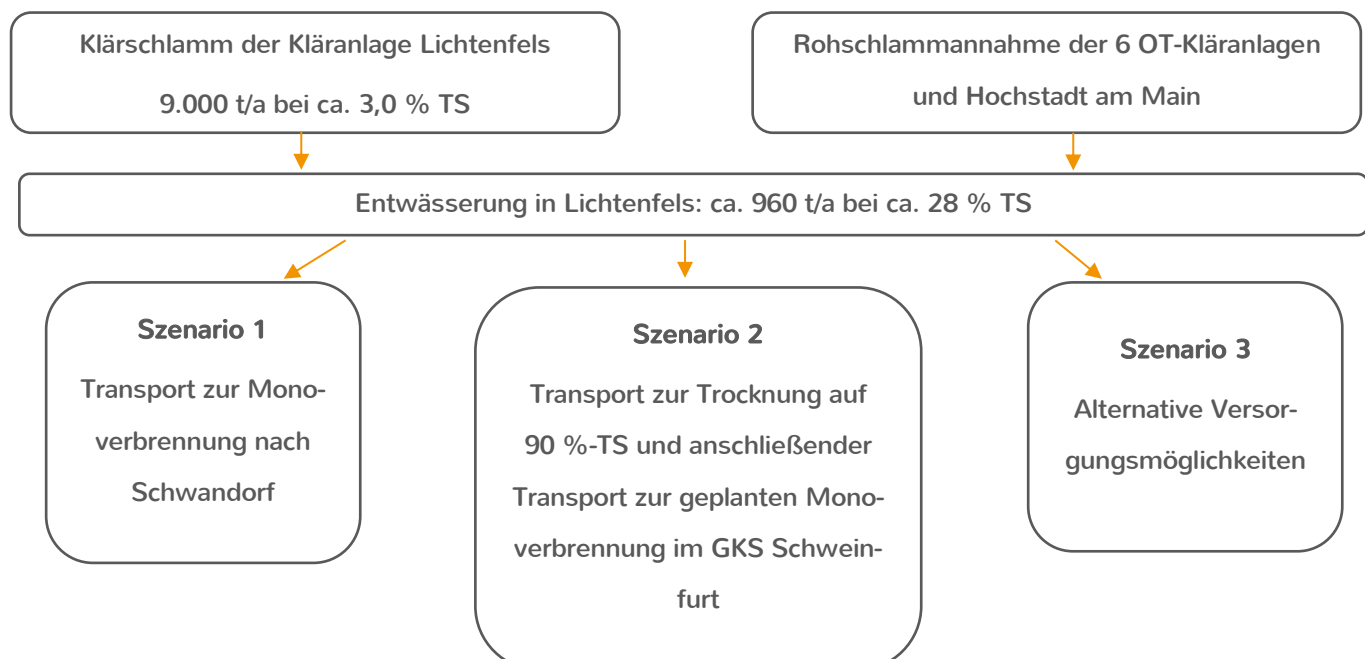
Bedeutung der Szenarien für Lichtenfels

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese wird auf der Kläranlage in Lichtenfels bereits stationär mit einer Zentrifuge umgesetzt. Der Klärschlamm der Kläranlage Hochstadt a. Main wird bereits mit entwässert. Es stehen noch Kapazitäten zur Entwässerung zur Verfügung. Hier besteht die Möglichkeit der Klärschlammlieferung der Kläranlage Redwitz.

Das Klärgas, welches durch die Klärschlammfäulung entsteht, wird mittels eines BHKW zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt. Im Rahmen des Konzeptes wurden keine potenziellen Klärschlammengen zur Klärschlammannahme in der Fäulung berücksichtigt.

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



In Szenario 1 wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für die Stadt Lichtenfels

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizungssystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Kindergarten Seubelsdorf - Gemeindehaus Trieb - Grundschule Roth - Konventbau Klosterlangheim - Gemeindehaus Buch a.Forst	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Hallenbad - Hauptschule Lichtenfels - Dreifachturnhalle Lichtenfels - Bauhof Lichtenfels - Grundschule Roth	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Stadt Lichtenfels ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten mehrere Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, die sich potenziell für die Errichtung von Wärmenetzen oder kleineren Wärmeverbundlösungen eignen. Diese sollten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliche Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte: - Industriegebiet Seubelsdorf - Wohngebiete im Hauptort Lichtenfels (sehr hohe Gebäudedichte) Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Lichtenfels vorangetrieben werden.	Kommune
4	Prüfung der Klärschlammannahme und nachhaltige Energieoptimierung der Kläranlage	Es kann geprüft werden, ob noch Klärschlamm von anderen Kläranlagen zur Entwässerung angenommen werden kann (bspw. Redwitz). Zudem empfiehlt sich die Installation zusätzlicher PV-Anlagen auf Dächern zur Eigenstromnutzung auf der Kläranlage. Zukünftig kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Auch die Nutzung der Abwassertemperatur ist über einen Wärmetauscher für die Wärmepumpe geeignet. Alternativ kann auch der Faulturm mit der Wärme der Wärmepumpe beheizt werden. Die Temperatur im Faulturm liegt in der Regel bei ca. 38 °C, was für einen Einsatz einer Wärmepumpe spricht. Die Wärme vom BHKW könnte beispielsweise zur Klärschlamm Trocknung oder in einem Wärmenetz genutzt werden. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune

5	Aktive Nutzung der Windkraftpotenziale in Lichtenfels	Im Stadtgebiet Lichtenfels befinden sich laut Regionalem Planungsverband ausgewiesene Vorrangflächen für Windkraft. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde hier ein technisches Potenzial für bis zu 9 Windkraftanlagen à 7,2 MW mit einem jährlichen Stromertrag von rund 129,6 Mio. kWh ermittelt. Vor dem Hintergrund der bundesweiten Flächenziele gemäß Windan-Land-Gesetz und der gelockerten Abstandsregelungen in Bayern wird empfohlen, dass sich die Gemeinde frühzeitig aktiv mit den Potenzialflächen auseinandersetzt, um die Planungshoheit zu wahren und lokale Wertschöpfung zu sichern. Dazu zählt unter anderem die Kontaktaufnahme mit Projektentwicklern, die Abstimmung mit dem Regionalwerk sowie die Berücksichtigung von Kriterien zur Flächennutzung, Bürgerbeteiligung und finanziellen Teilhabe in kommunale Entscheidungsprozesse.	Kommune / Regionalwerk
6	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Lichtenfels	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Stadtgebiet Lichtenfels identifiziert. Insgesamt wurden rund 883 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Lichtenfels ein realistisches Ausbauziel von rund 61 Hektar, auf denen jährlich etwa 61 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

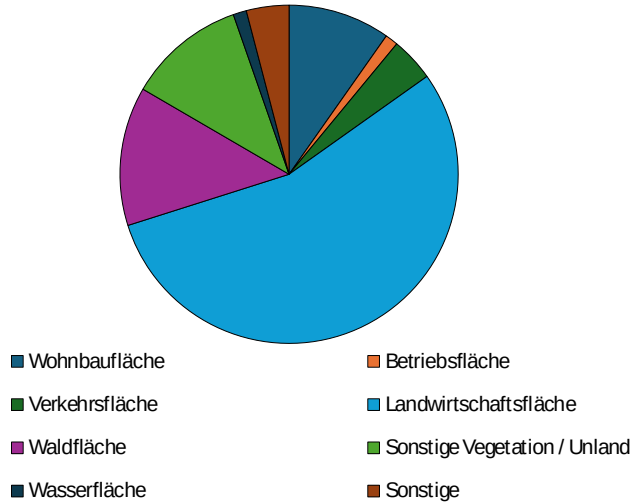
Besiedlung

Einwohner	EW	1.146
Gebietsfläche	ha	375
Einwohnerdichte	EW/km ²	306

Flächenverteilung

Flächenverteilung	ha
Wohnbaufläche	37
Betriebsfläche	5
Verkehrsfläche	16
Landwirtschaftsfläche	206
Waldfläche	50
Sonstige Vegetation / Unland	42
Wasserfläche	5
Sonstige	15
Summe	375

Flächenverteilung



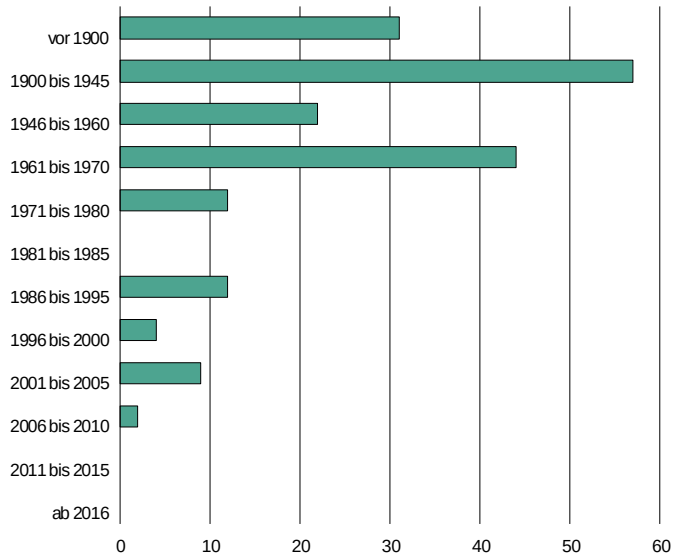
Wohnbestand

Anzahl Wohngebäude	-	418
Anzahl Wohnungen	-	574
Wohnfläche	m ²	64.925

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	31
1900 bis 1945	-	57
1946 bis 1960	-	22
1961 bis 1970	-	44
1971 bis 1980	-	12
1981 bis 1985	-	0
1986 bis 1995	-	12
1996 bis 2000	-	4
2001 bis 2005	-	9
2006 bis 2010	-	2
2011 bis 2015	-	0
ab 2016	-	0

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ **Biomasse-KWK**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ **KWK (konventionell):**

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

³⁾ **Wärmepumpen/ Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ **Sonstiges**

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ **Grüne Gase Importe**

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ **Wärmepumpen**

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

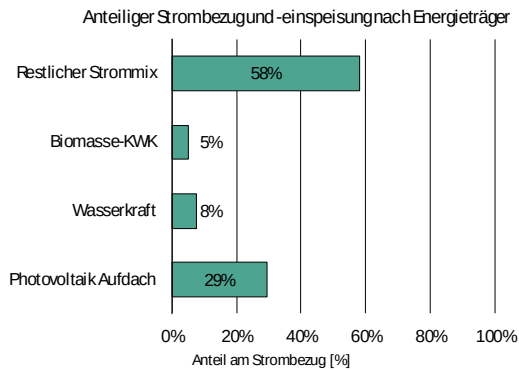
Marktgraitz

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

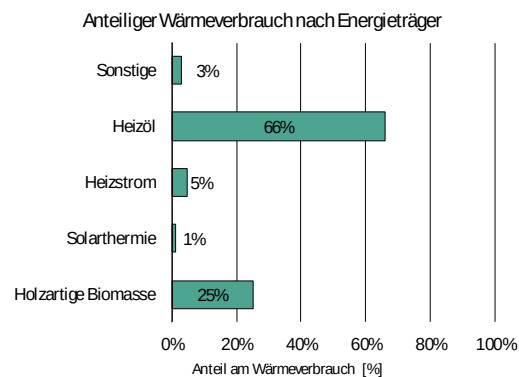
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	1.317.639
Kommunale Liegenschaften	65.962
Wirtschaft	569.704
Gesamt	1.953.306



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	821.592
Photovoltaik Aufdach	572.361
Photovoltaik Freifläche	0
Wasserkraft	146.543
Biomasse-KWK ¹⁾	102.688
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	0
Restlicher Strommix	1.131.714
Gesamt	1.953.306

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	11.934.843
Kommunale Liegenschaften	236.780
Wirtschaft	876.881
Gesamt	13.048.504



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	3.426.926
Holzartige Biomasse	3.262.126
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	164.800
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	630.522
Fossile Energieträger	8.991.056
Erdgas	0
Heizöl	8.599.601
Sonstige ⁴⁾	391.455
Gesamt	13.048.504

Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	287.961
restliche Energieträger	7.598.853
Gesamt	7.886.814

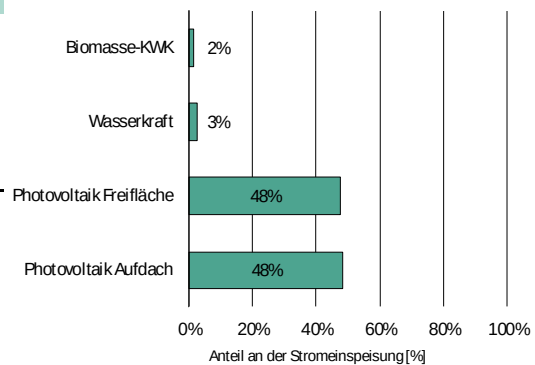
CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	924
Wärmeverbrauch	3.162
Verkehr	2.617
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	0
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-389
Gesamt	6.314

Strom
Stromeinspeisung nach Energieträger

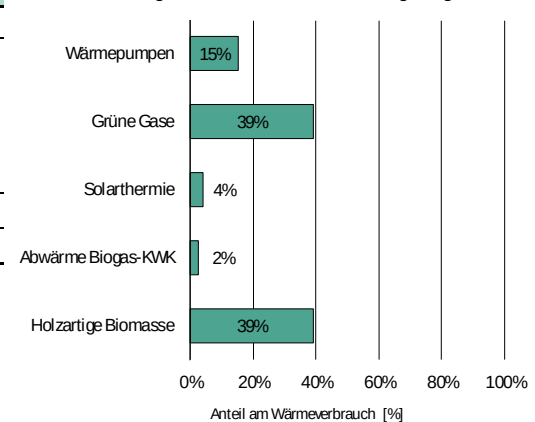
	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	3.131.615
Photovoltaik Freifläche	3.086.400
Wasserkraft	168.524
Biomasse- KWK ¹⁾	102.688
Windkraft	0
Gesamt	6.489.227

Anteilige Stromeinspeisung nach Energieträger


Wärme
Wärmeverbrauch nach Energieträger

	kWh/a
Erneuerbare Energien	8.488.709
Holzartige Biomasse	3.914.551
Abwärme Biogas- KWK	246.724
Wasserstoff	0
Solarthermie	417.720
Grüne Gase Importe ⁵⁾	3.909.713
Wärmepumpen ⁶⁾	1.524.550
Fossile Energieträger	0
Gesamt	10.013.259

Anteiliger Wärmeverbrauch nach Energieträger


Verkehr
Energiebedarf Sektor Verkehr

	kWh/a
Anteil elektrisch	1.930.442
Wasserstoff	152.815
restliche Energieträger	1.806.335
Gesamt	3.889.593

CO₂-Bilanz
CO₂-Bilanz nach Sektoren

	t/a
Strombezug	61
Wärmeverbrauch	268
Verkehr	654
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-208
Gesamt	775

Gesamtenergiebilanz
Gesamtenergiebilanz - Vergleich

	kWh/a
Energiebedarf	15.801.702
Energieerzeugung erneuerbare Energien	14.977.935

Maßnahmenkatalog für den Markt Marktgraitz

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizungssystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Schule & Turnhalle - Rathaus	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Schule & Turnhalle (PV-Erweiterung) - Bauhof / Feuerwehrhaus	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für den Markt Marktgraitz ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnte ein Schwerpunktgebiet mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, das sich potenziell für die Errichtung eines Wärmenetzes eignen könnte. Dieses sollte im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliches Schwerpunktgebiet mit hoher Wärmedichte: - Quartier rund um Marktplatz Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Marktgraitz vorangetrieben werden.	Kommune
4	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Marktgraitz	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Gemeindegebiet Marktgraitz identifiziert. Insgesamt wurden rund 19 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Marktgraitz ein realistisches Ausbauziel von rund 3 Hektar, auf denen jährlich etwa 3 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

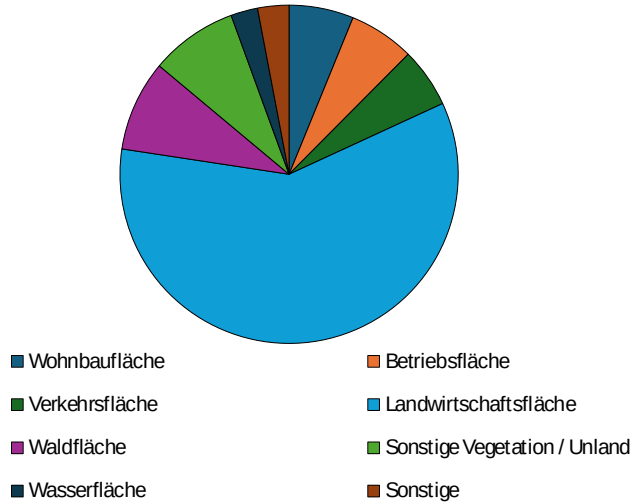
Besiedlung

Einwohner	EW	1.573
Gebietsfläche	ha	686
Einwohnerdichte	EW/km ²	229

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	42
Betriebsfläche	43
Verkehrsfläche	39
Landwirtschaftsfläche	406
Waldfläche	59
Sonstige Vegetation / Unland	57
Wasserfläche	18
Sonstige	21
Summe	686

Flächenverteilung



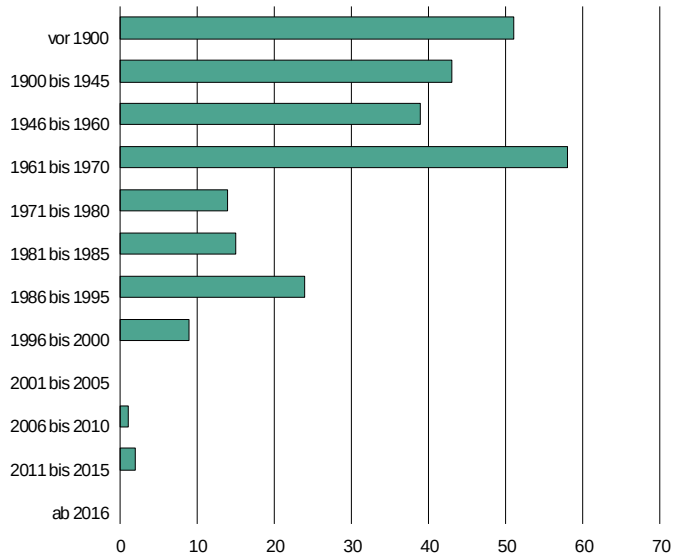
Wohnbestand

Anzahl Wohngebäude	-	535
Anzahl Wohnungen	-	748
Wohnfläche	m ²	84.507

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	51
1900 bis 1945	-	43
1946 bis 1960	-	39
1961 bis 1970	-	58
1971 bis 1980	-	14
1981 bis 1985	-	15
1986 bis 1995	-	24
1996 bis 2000	-	9
2001 bis 2005	-	0
2006 bis 2010	-	1
2011 bis 2015	-	2
ab 2016	-	0

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

1) Biomasse-KWK

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

2) KWK (konventionell):

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

3) Wärmepumpen/ Stromheizungen

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

4) Sonstiges

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

5) Grüne Gase Importe

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

6) Wärmepumpen

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

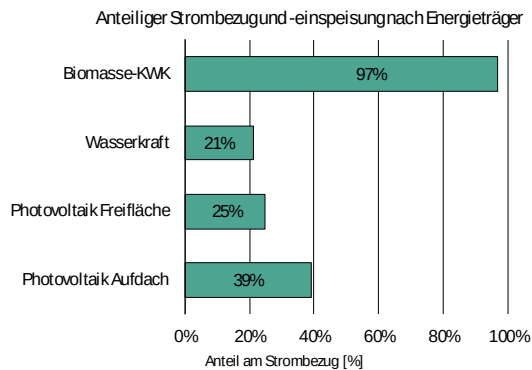
MarktzeuIn

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

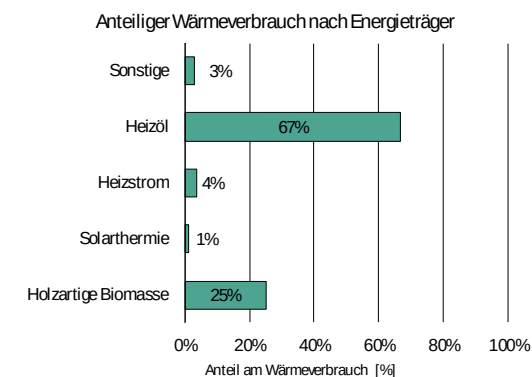
Strombezug nach Verbraucherguppen	kWh/a
Private Haushalte	1.863.119
Kommunale Liegenschaften	87.305
Wirtschaft	1.495.450
Gesamt	3.445.874



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	6.252.782
Photovoltaik Aufdach	1.345.284
Photovoltaik Freifläche	852.664
Wasserkraft	726.034
Biomasse-KWK ¹⁾	3.328.800
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	0
Restlicher Strommix	0
Gesamt	3.445.874

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbraucherguppen	kWh/a
Private Haushalte	16.712.792
Kommunale Liegenschaften	398.498
Wirtschaft	2.567.927
Gesamt	19.679.217



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	5.169.527
Holzartige Biomasse	4.919.804
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	249.723
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	759.271
Fossile Energieträger	13.750.419
Erdgas	0
Heizöl	13.160.042
Sonstige ⁴⁾	590.377
Gesamt	19.679.217

Verkehr

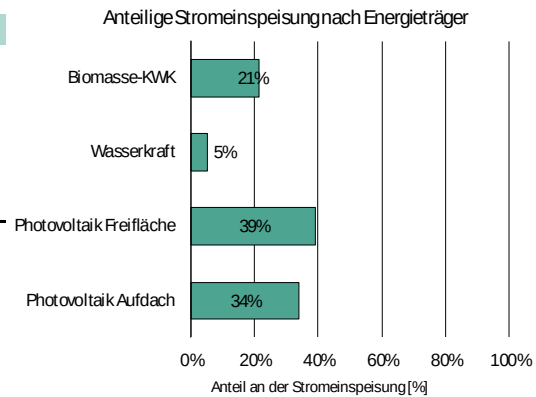
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	532.978
restliche Energieträger	18.352.593
Gesamt	18.885.572

CO₂-Bilanz

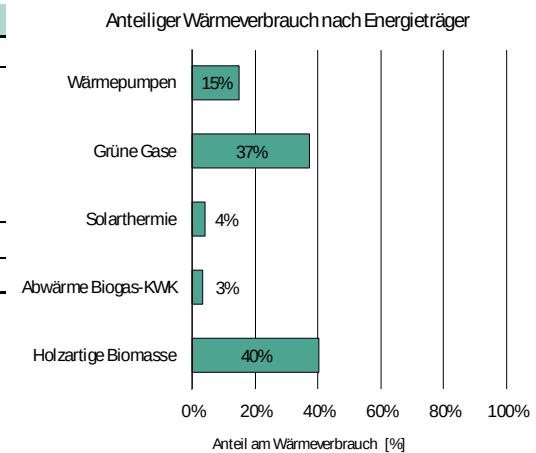
CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	1.630
Wärmeverbrauch	4.738
Verkehr	6.243
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	0
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-2.958
Gesamt	9.653

Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	5.258.220
Photovoltaik Freifläche	6.096.150
Wasserkraft	834.939
Biomasse-KWK ¹⁾	3.328.800
Windkraft	0
Gesamt	15.518.109


Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	12.440.070
Holzartige Biomasse	5.903.765
Abwärme Biogas-KWK	487.280
Wasserstoff	0
Solarthermie	584.948
Grüne Gase Importe ⁵⁾	5.464.078
Wärmepumpen ⁶⁾	2.218.007
Fossile Energieträger	0
Gesamt	14.658.078


Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	4.622.590
Wasserstoff	365.928
restliche Energieträger	4.325.406
Gesamt	9.313.924

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	112
Wärmeverbrauch	391
Verkehr	1.567
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-497
Gesamt	1.574

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	27.486.157
Energieerzeugung erneuerbare Energien	27.958.180

Ist-Situation

1 Kläranlage der Größenklasse 4

Anlagenspezifikationen Michelau

Ausbaugröße 16.500 EW

Kläranlage: Belebungsanlage

Klärschlammmenge im Mittel

ca. 40.500 m³ bei ca. 0,75 % TS

(ca. 300 t_{TM}/a)

Stationäre Entwässerung

Klärschlammverwertung

Thermische Verwertung im MHKW Coburg

Lage der Kläranlage



Luftbild der Kläranlage AZV Marktzeuln-Michelau



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung - www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Gemeinden Michelau i. OFr. und Marktzeuln betreiben die Kläranlage in einem Abwasserzweckverband

Szenarien der Klärschlamm Entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennungsanlage im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

Bedeutung der Szenarien für Michelau

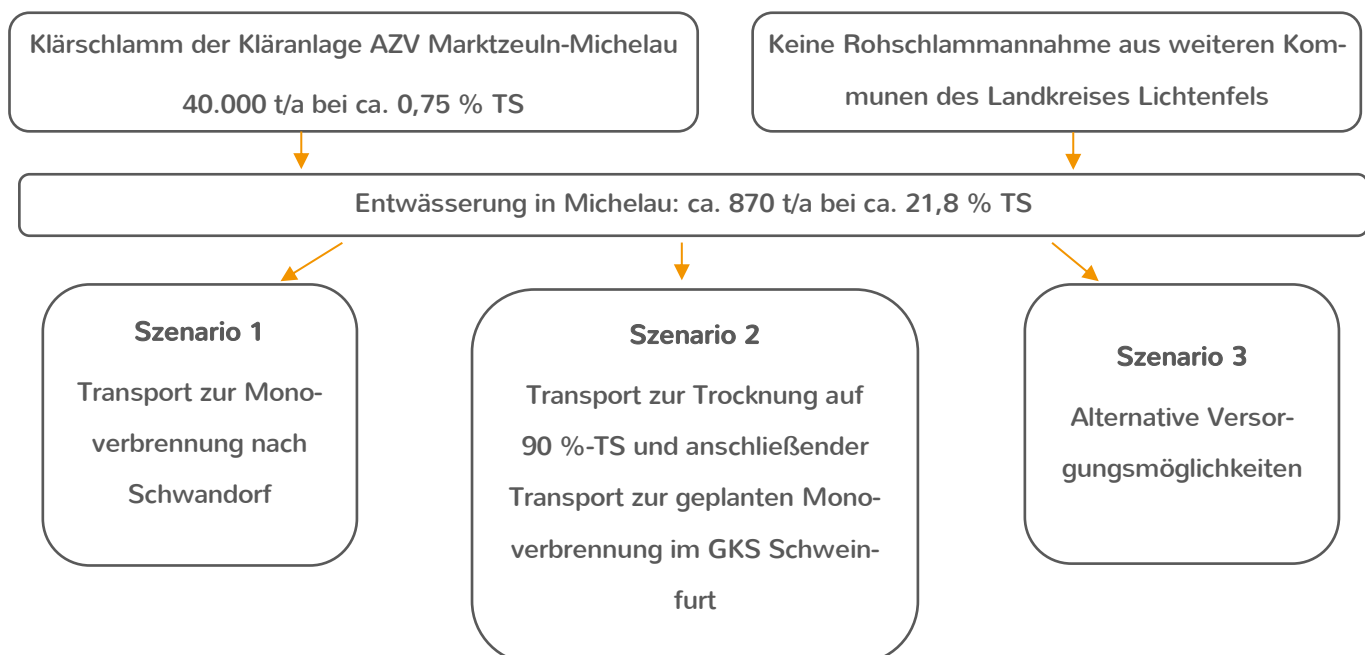
Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese wird auf der Kläranlage AZV Marktzeuln-Michelau bereits stationär mit einer Schneckenpresse umgesetzt.

An die Kläranlage sind die Gemeinden Michelau i. OFr. und Marktzeuln angeschlossen und wird als Verbandskläranlage beider Kommunen betrieben.

Im Rahmen des Konzeptes wurden keine weiteren Klärschlammannahmen berücksichtigt.

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und Monoverbrennung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In **Szenario 1** wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (**Szenario 3**). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstoffherstellung. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für den Markt Marktzeuln

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizsystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Energienutzungsplan wurden die Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erfasst und durch GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche analysiert. Da die meisten Gebäude der Kommune bereits mit erneuerbaren Energien beheizt werden und keine wesentlichen Effizienzdefizite festgestellt wurden, gibt es derzeit keine gezielte Empfehlung für die Prüfung zusätzlicher Effizienzsteigerungen an einzelnen Gebäuden.	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Bauhof - Feuerwehrhaus Marktzeuln - Aussegnungshalle - Feuerwehrhaus Horb	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für den Markt Marktzeuln ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnte ein Schwerpunktgebiet mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, das sich potenziell für die Errichtung eines Wärmenetzes eignen könnte. Dieses sollte im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliches Schwerpunktgebiet mit hoher Wärmedichte: - Wohngebiet "Am Flecken" Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Marktzeuln vorangetrieben werden.	Kommune
4	Nachhaltige Energieoptimierung der Kläranlage des Zweckverbands Marktzeuln-Michelau	Es empfiehlt sich die Installation weiterer PV-Anlagen, sowohl Dach- als auch Freiflächenanlagen, auf der Kläranlage zu prüfen. Zukünftig kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune
5	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Marktzeuln	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Gemeindegebiet Marktzeuln identifiziert. Insgesamt wurden rund 23 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Marktzeuln ein realistisches Ausbauziel von rund 6 Hektar, auf denen jährlich etwa 6 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

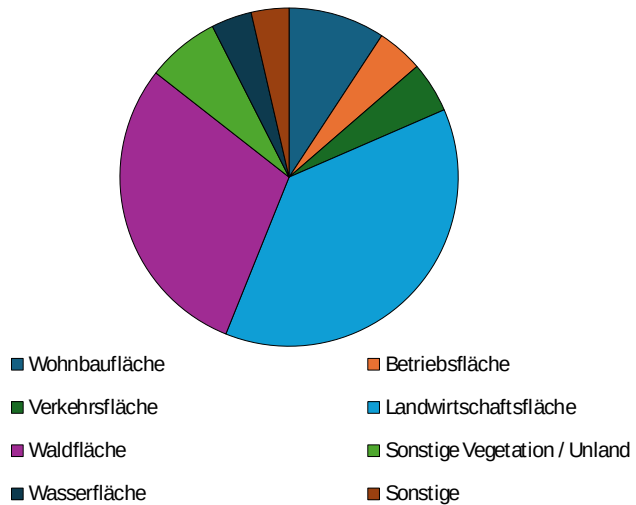
Besiedlung

Einwohner	EW	6.275
Gebietsfläche	ha	1.935
Einwohnerdichte	EW/km ²	324

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	179
Betriebsfläche	85
Verkehrsfläche	94
Landwirtschaftsfläche	728
Waldfläche	570
Sonstige Vegetation / Unland	134
Wasserfläche	75
Sonstige	70
Summe	1.935

Flächenverteilung

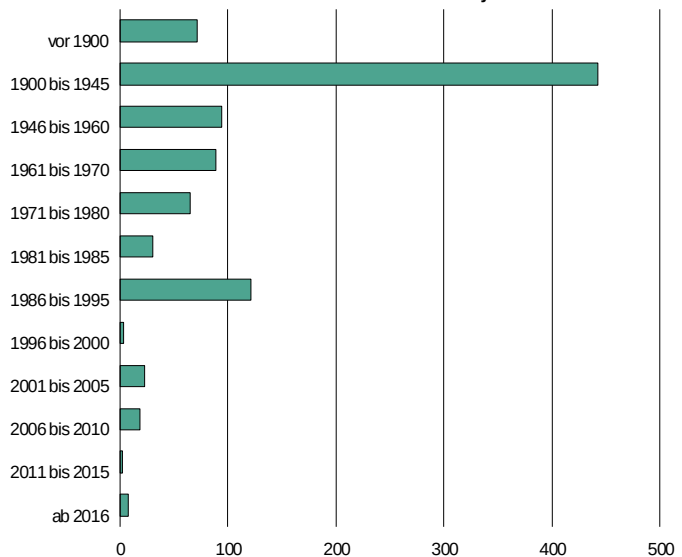
**Wohnbestand**

Anzahl Wohngebäude	-	2.142
Anzahl Wohnungen	-	3.046
Wohnfläche	m ²	342.075

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	71
1900 bis 1945	-	442
1946 bis 1960	-	94
1961 bis 1970	-	89
1971 bis 1980	-	65
1981 bis 1985	-	30
1986 bis 1995	-	121
1996 bis 2000	-	3
2001 bis 2005	-	23
2006 bis 2010	-	18
2011 bis 2015	-	2
ab 2016	-	8

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ Biomasse-KWK

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ KWK (konventionell):

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

**³⁾ Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ Sonstiges

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ Grüne Gase Importe

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ Wärmepumpen

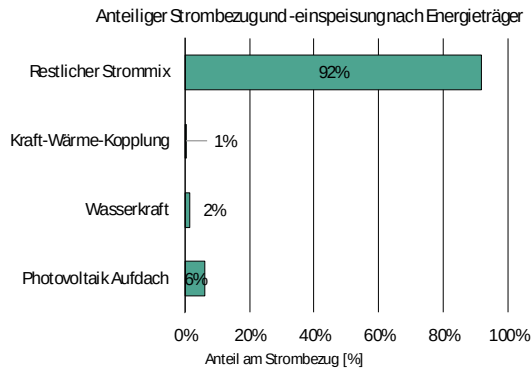
Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

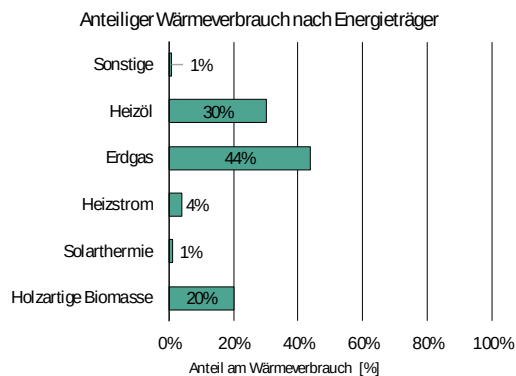
Strombezug nach Verbraucherguppen	kWh/a
Private Haushalte	8.065.615
Kommunale Liegenschaften	775.283
Wirtschaft	36.760.261
Gesamt	45.601.160



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	3.483.034
Photovoltaik Aufdach	2.756.492
Photovoltaik Freifläche	0
Wasserkraft	726.542
Biomasse-KWK ¹⁾	0
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	258.988
Restlicher Strommix	41.859.138
Gesamt	45.601.160

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbraucherguppen	kWh/a
Private Haushalte	62.446.078
Kommunale Liegenschaften	1.413.953
Wirtschaft	19.469.850
Gesamt	83.329.881



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	17.600.235
Holzartige Biomasse	16.665.976
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	934.259
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	3.272.528
Fossile Energieträger	62.457.118
Erdgas	36.432.984
Heizöl	25.190.835
Sonstige ⁴⁾	833.299
Gesamt	83.329.881

Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	1.914.840
restliche Energieträger	62.478.005
Gesamt	64.392.845

CO₂-Bilanz

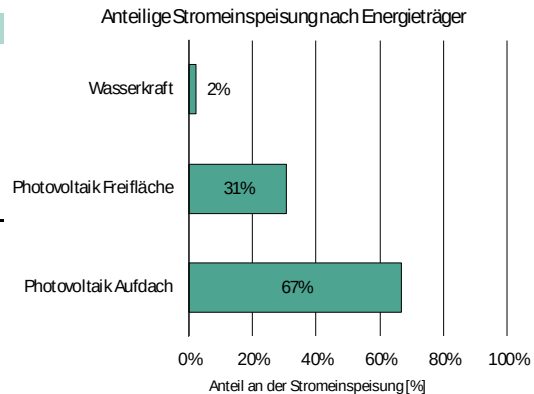
CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	21.569
Wärmeverbrauch	18.731
Verkehr	21.299
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	78
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-1.647
Gesamt	60.030

Potenzialanalyse

Zieljahr: 2040

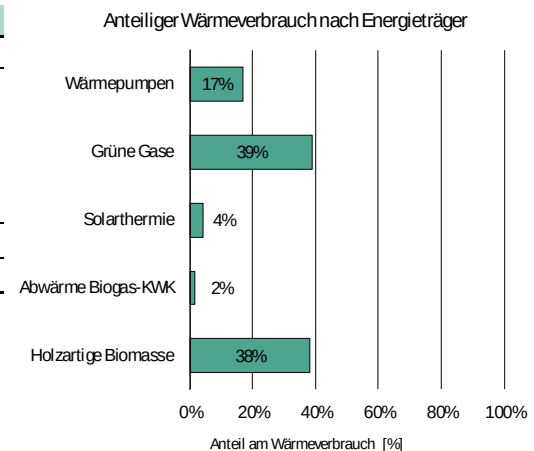
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	23.847.143
Photovoltaik Freifläche	10.920.000
Wasserkraft	835.523
Biomasse- KWK ¹⁾	0
Windkraft	0
Gesamt	35.602.666



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	43.486.858
Holzartige Biomasse	19.999.171
Abwärme Biogas- KWK	873.071
Wasserstoff	0
Solarthermie	2.185.613
Grüne Gase Importe ⁵⁾	20.429.003
Wärmepumpen ⁶⁾	8.877.495
Fossile Energieträger	0
Gesamt	52.364.353



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	15.761.329
Wasserstoff	1.247.679
restliche Energieträger	14.748.043
Gesamt	31.757.050

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	1.329
Wärmeverbrauch	1.403
Verkehr	5.342
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-1.139
Gesamt	6.934

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	125.653.720
Energieerzeugung erneuerbare Energien	79.089.524

Maßnahmenkatalog für die Gemeinde Michelau in Oberfranken

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizsystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Bauhof Michelau - Feuerwehrhaus Michelau - Kulturhaus - Grundschule an der Görtze - Turnhalle Schwüribitz	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Johann-Puppert-Schule - Rathaus - Turnhalle Schwüribitz - Kulturhaus	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Gemeinde Michelau in Oberfranken ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten mehrere Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, die sich potenziell für die Errichtung von Wärmenetzen oder kleineren Wärmeverbundlösungen eignen. Diese sollten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliche Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte: - Gewerbegebiet Nord - Gebiet westlich des Kirchplatzes entlang der Schneyer Straße - Ortskern östlich des Kirchplatzes Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Michelau in Oberfranken vorangetrieben werden.	Kommune
4	Nachhaltige Energieoptimierung der Kläranlage des Zweckverbands Marktzeuln-Michelau	Es empfiehlt sich die Installation weiterer PV-Anlagen, sowohl Dach- als auch Freiflächenanlagen, auf der Kläranlage zu prüfen. Zukünftig kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune
5	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Michelau in Oberfranken	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Gemeindegebiet Michelau identifiziert. Insgesamt wurden rund 119 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Michelau ein realistisches Ausbauziel von rund 10 Hektar, auf denen jährlich etwa 10 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks,	Kommune / Regionalwerk

		die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

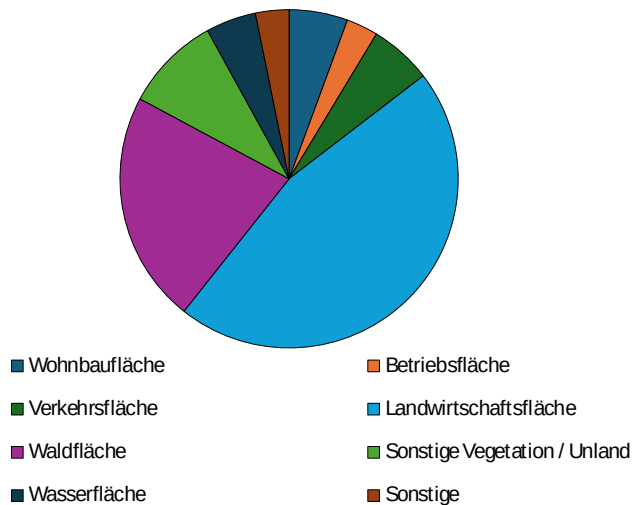
Besiedlung

Einwohner	EW	3.358
Gebietsfläche	ha	1.466
Einwohnerdichte	EW/km ²	229

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	82
Betriebsfläche	45
Verkehrsfläche	87
Landwirtschaftsfläche	676
Waldfläche	325
Sonstige Vegetation / Unland	134
Wasserfläche	70
Sonstige	47
Summe	1.466

Flächenverteilung

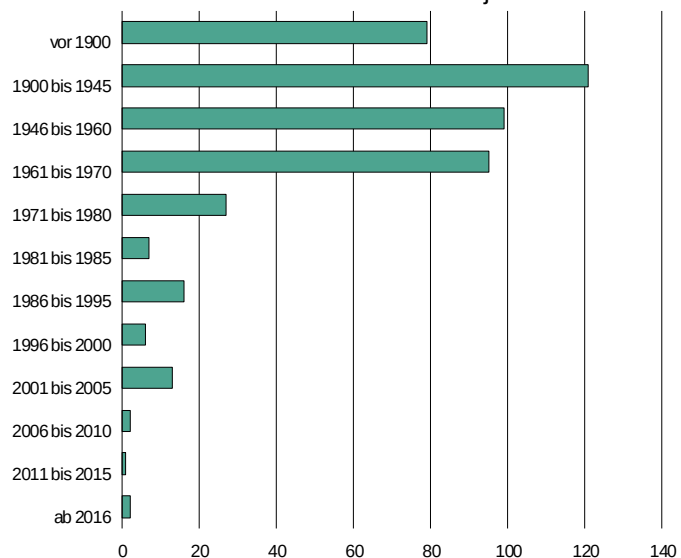
**Wohnbestand**

Anzahl Wohngebäude	-	1.029
Anzahl Wohnungen	-	1.633
Wohnfläche	m ²	174.351

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	79
1900 bis 1945	-	121
1946 bis 1960	-	99
1961 bis 1970	-	95
1971 bis 1980	-	27
1981 bis 1985	-	7
1986 bis 1995	-	16
1996 bis 2000	-	6
2001 bis 2005	-	13
2006 bis 2010	-	2
2011 bis 2015	-	1
ab 2016	-	2

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ Biomasse-KWK

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ KWK (konventionell):

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

**³⁾ Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ Sonstiges

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ Grüne Gase Importe

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ Wärmepumpen

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

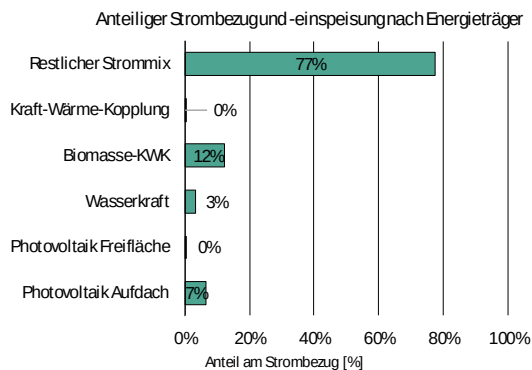
Redwitz a.d.Rodach

Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

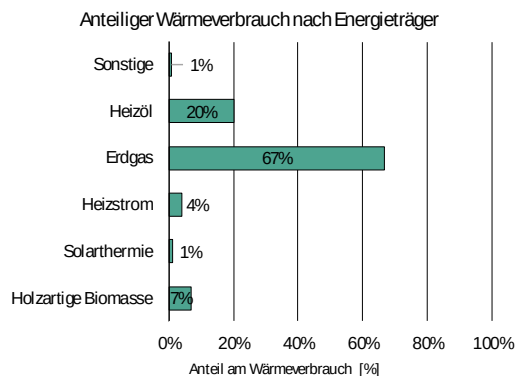
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	4.374.290
Kommunale Liegenschaften	653.251
Wirtschaft	36.151.874
Gesamt	41.179.415



Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	9.179.783
Photovoltaik Aufdach	2.730.191
Photovoltaik Freifläche	113.599
Wasserkraft	1.331.062
Biomasse-KWK ¹⁾	5.004.931
Windkraft	0
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	97.150
Restlicher Strommix	31.902.482
Gesamt	41.179.415

Wärme

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	32.006.253
Kommunale Liegenschaften	561.829
Wirtschaft	10.294.014
Gesamt	42.862.096



Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	3.483.241
Holzartige Biomasse	3.000.347
Abwärme Biogas-KWK	0
Solarthermie	482.894
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	1.751.146
Fossile Energieträger	37.627.709
Erdgas	28.592.713
Heizöl	8.606.375
Sonstige ⁴⁾	428.621
Gesamt	42.862.096

Verkehr

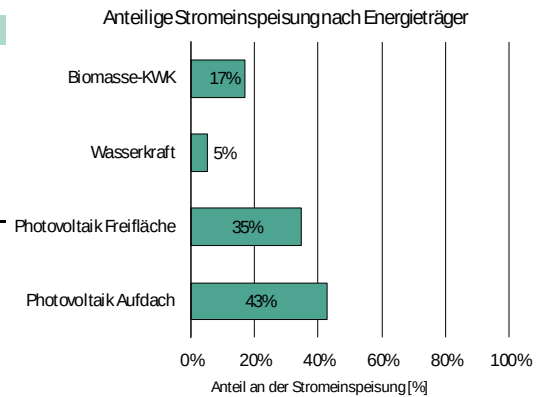
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	956.255
restliche Energieträger	29.160.492
Gesamt	30.116.747

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	19.478
Wärmeverbrauch	10.571
Verkehr	9.971
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	29
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-4.342
Gesamt	35.707

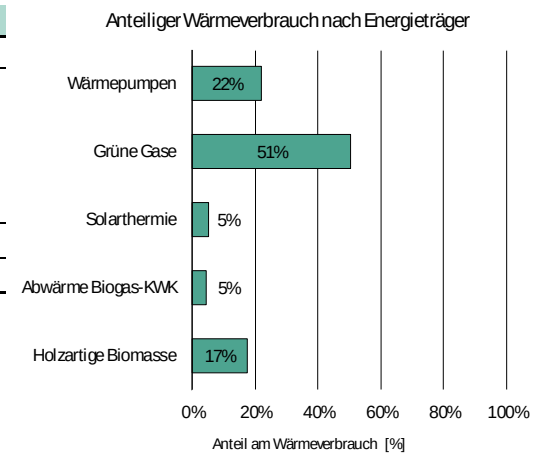
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	12.591.868
Photovoltaik Freifläche	10.138.350
Wasserkraft	1.530.721
Biomasse-KWK ¹⁾	5.004.931
Windkraft	0
Gesamt	29.265.870



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	16.149.372
Holzartige Biomasse	3.600.416
Abwärme Biogas-KWK	960.392
Wasserstoff	0
Solarthermie	1.120.219
Grüne Gase Importe ⁵⁾	10.468.345
Wärmepumpen ⁶⁾	4.551.816
Fossile Energieträger	0
Gesamt	20.701.188



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	7.371.626
Wasserstoff	583.543
restliche Energieträger	6.897.708
Gesamt	14.852.878

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	1.177
Wärmeverbrauch	606
Verkehr	2.498
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-937
Gesamt	3.345

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	72.320.771
Energieerzeugung erneuerbare Energien	45.415.242

Ist-Situation

1 Kläranlage der Größenklasse 4

Anlagenspezifikationen Redwitz

Ausbaugröße 15.000 EW

Kläranlage: Belebungsanlage

Klärschlammmenge im Mittel ca. 4.200 m³
bei ca. 2,3 % TS (ca. 100 t_{TM}/a)

Mobile Entwässerung

Klärschlammverwertung

Thermische Verwertung

Lage der Kläranlage



Luftbild der Kläranlage Redwitz



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Gemeinde Marktgraitz leitet das Abwasser in die Kläranlage ein

Szenarien der Klärschlamm entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage in Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

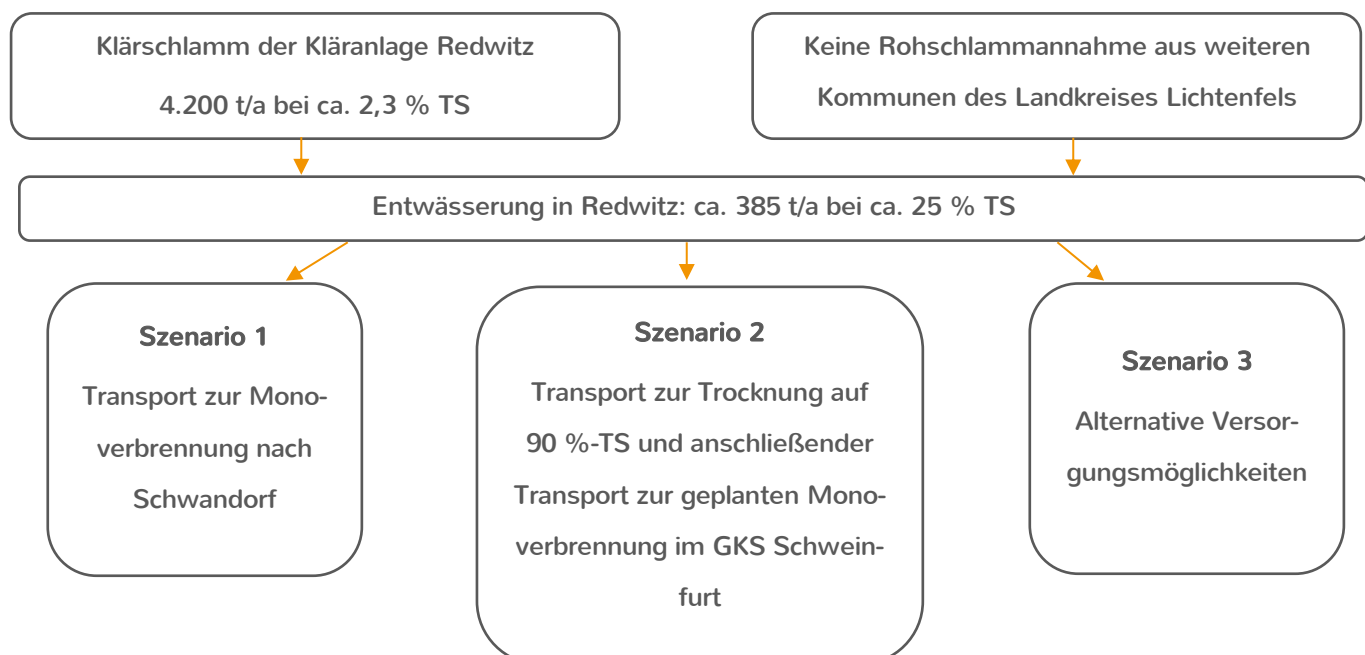
Bedeutung der Szenarien für Redwitz

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese wird auf der Kläranlage in Redwitz bereits mobil mit einer Schneckenpresse umgesetzt. Hier ist derzeit keine stationäre Entwässerung angedacht. Es besteht die Möglichkeit der Klärschlammlieferung an die Kläranlage Lichtenfels zur Entwässerung.

An die Kläranlage Redwitz ist der Markt Marktgraitz mit angeschlossen. Im Rahmen des Konzeptes wurde keine Klärschlammannahme berücksichtigt.

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und externe Verwertung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In Szenario 1 wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmeequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (Szenario 3). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstofferzeugungsanlagen. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für die Gemeinde Redwitz an der Rodach

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizungssystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Mehrzweckgebäude - Kindergarten Mannsgereuth - Feuerwehrhaus Unterlangenstadt	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Feuerwehrhaus Trainau - Kindergarten / Kinderkrippe Redwitz	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Gemeinde Redwitz an der Rodach ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnten mehrere Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, die sich potenziell für die Errichtung von Wärmenetzen oder kleineren Wärmeverbundlösungen eignen. Diese sollten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliche Schwerpunktgebiete mit hoher Wärmedichte: - Nördliches Wohngebiet im Hauptort Redwitz - Gewerbegebiet "Am Bahnhof" Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Redwitz an der Rodach vorangetrieben werden.	Kommune
4	Optimierung der Klärschlammmentwässerung und nachhaltige Energieversorgung der Kläranlage Redwitz	Für die Kläranlage Redwitz kann geprüft werden, eine Schneckenpresse zur stationären Entwässerung anzuschaffen. Alternativ kann Kontakt mit der Kläranlage Lichtenfels bezüglich der Klärschlammmentwässerung aufgenommen werden, da hier noch Kapazitäten vorhanden sind. Zukünftig kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune
5	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Redwitz an der Rodach	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Gemeindegebiet Redwitz identifiziert. Insgesamt wurden rund 62 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Redwitz ein realistisches Ausbauziel von rund 10 Hektar, auf denen jährlich etwa 10 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks,	Kommune / Regionalwerk

		die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	

Allgemeine Angaben

Bilanzjahr: 2021

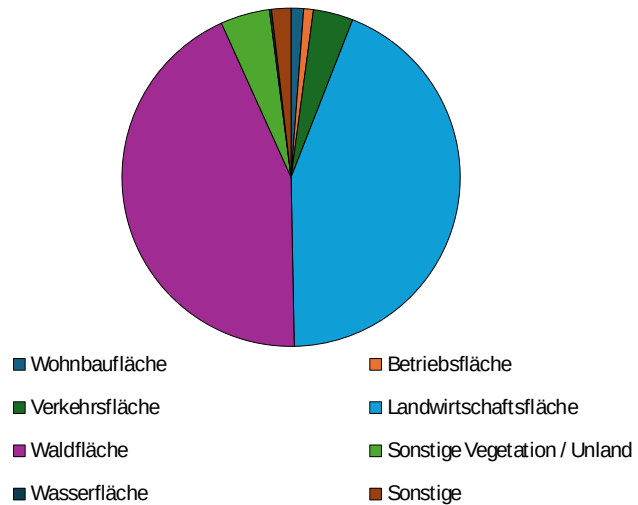
Besiedlung

Einwohner	EW	4.748
Gebietsfläche	ha	9.014
Einwohnerdichte	EW/km ²	53

Flächenverteilung

	ha
Wohnbaufläche	108
Betriebsfläche	84
Verkehrsfläche	344
Landwirtschaftsfläche	3.945
Waldfläche	3.925
Sonstige Vegetation / Unland	424
Wasserfläche	18
Sonstige	167
Summe	9.014

Flächenverteilung

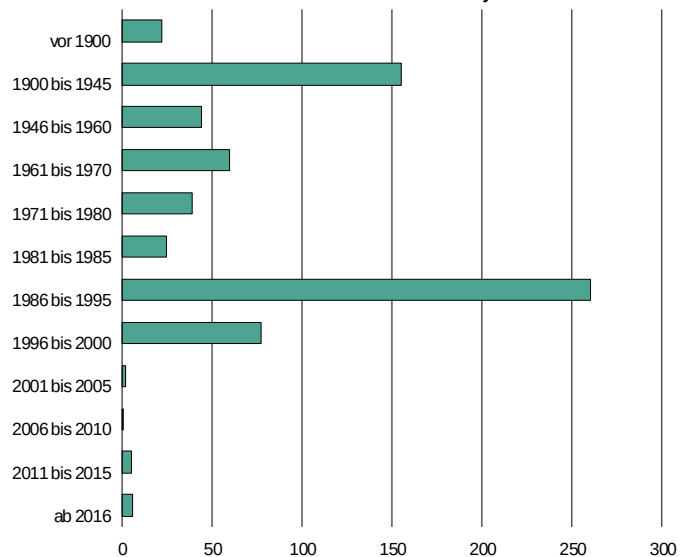
**Wohnbestand**

Anzahl Wohngebäude	-	1.446
Anzahl Wohnungen	-	2.196
Wohnfläche	m ²	257.046

Wohneinheitenanzahl nach Baujahrklassen

vor 1900	-	22
1900 bis 1945	-	155
1946 bis 1960	-	44
1961 bis 1970	-	60
1971 bis 1980	-	39
1981 bis 1985	-	25
1986 bis 1995	-	260
1996 bis 2000	-	77
2001 bis 2005	-	2
2006 bis 2010	-	1
2011 bis 2015	-	5
ab 2016	-	6

Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahrklassen



Erklärungen zu Fußnoten auf den folgenden Seiten:

¹⁾ Biomasse-KWK

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Biogas, Biomethan, fester Biomasse (Holzvergaser) und Klärgas

²⁾ KWK (konventionell):

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Erdgas inklusive Deponiegas-Blockheizkraftwerken

**³⁾ Wärmepumpen/
Stromheizungen**

Wird vom Energieversorger als ein Wert ausgewiesen, weshalb nicht explizit zwischen Strom-Direktheizungen und Wärmepumpen unterschieden werden kann. Der Mischwert wird in einer eigenen Kategorie ausgewiesen.

⁴⁾ Sonstiges

Mengenmäßig geringe Energieträger (Flüssiggas, Kohle) oder auch (sofern vorhanden) besondere Brennstoffe in der Industrie

⁵⁾ Grüne Gase Importe

Beinhaltet Importmengen von Biomethan, Wasserstoff sowie holzartiger Biomasse. Diese werden bilanziell als Ersatz für verbliebene Erdgaslücken berücksichtigt, die sich aus der energetischen Bilanz ergeben.

⁶⁾ Wärmepumpen

Die ausgewiesene Energiemenge entspricht dem Strombedarf der Wärmepumpe. Die zusätzlich genutzte Umweltwärme, die je nach COP ein Vielfaches betragen kann, ist nicht enthalten.

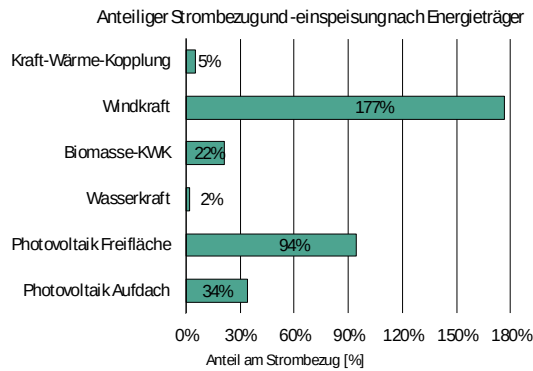
Energetischer Ist-Zustand

Bilanzjahr: 2021

Strom

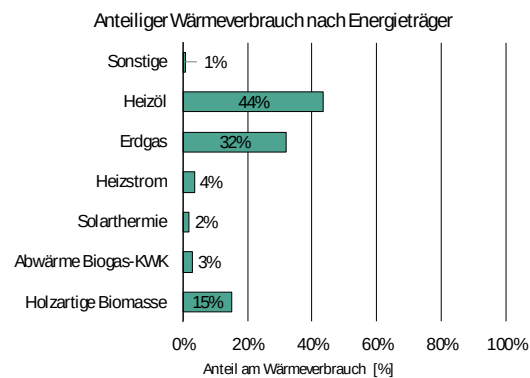
Strombezug nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	4.445.952
Kommunale Liegenschaften	597.712
Wirtschaft	7.945.964
Gesamt	12.989.628

Bezug und -einspeisung nach Energieträger	kWh/a
Stromeinspeisung erneuerbarer Energien	42.770.097
Photovoltaik Aufdach	4.476.813
Photovoltaik Freifläche	12.256.333
Wasserkraft	278.386
Biomasse-KWK ¹⁾	2.793.649
Windkraft	22.964.916
Kraft-Wärme-Kopplung (konventionell) ²⁾	646.913
Restlicher Strommix	0
Gesamt	12.989.628

**Wärme**

Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen	kWh/a
Private Haushalte	45.319.869
Kommunale Liegenschaften	997.069
Wirtschaft	6.998.986
Gesamt	53.315.924

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	10.525.945
Holzartige Biomasse	7.997.389
Abwärme Biogas-KWK	1.500.000
Solarthermie	1.028.556
Wärmepumpen/Strom-Direktheizungen ³⁾	1.994.005
Fossile Energieträger	40.795.974
Erdgas	17.041.798
Heizöl	23.221.017
Sonstige ⁴⁾	533.159
Gesamt	53.315.924

**Verkehr**

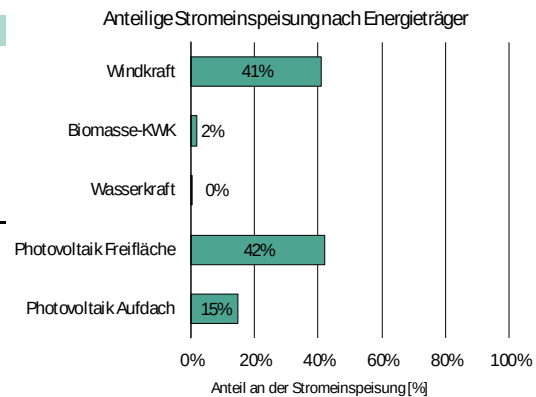
Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	1.789.637
restliche Energieträger	66.243.330
Gesamt	68.032.967

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	6.144
Wärmeverbrauch	12.651
Verkehr	22.469
Stromeinspeisung Kraft-Wärme-Kopplung	194
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-20.230
Gesamt	21.228

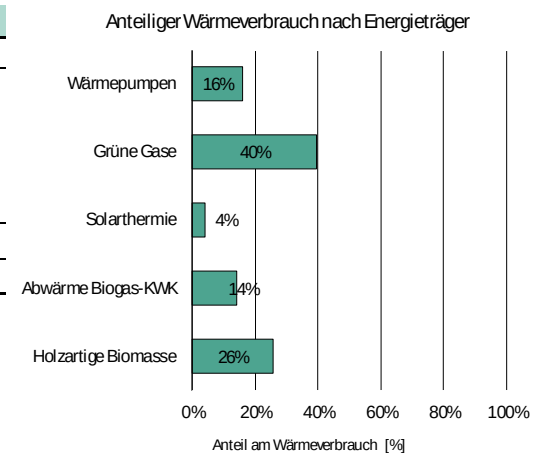
Strom

Stromeinspeisung nach Energieträger	kWh/a
Photovoltaik Aufdach	21.105.160
Photovoltaik Freifläche	59.178.000
Wasserkraft	320.144
Biomasse- KWK ¹⁾	2.793.649
Windkraft	57.600.000
Gesamt	140.996.953



Wärme

Wärmeverbrauch nach Energieträger	kWh/a
Erneuerbare Energien	31.411.962
Holzartige Biomasse	9.596.866
Abwärme Biogas- KWK	5.361.024
Wasserstoff	0
Solarthermie	1.586.195
Grüne Gase Importe ⁵⁾	14.867.876
Wärmepumpen ⁶⁾	6.027.213
Fossile Energieträger	0
Gesamt	37.439.175



Verkehr

Energiebedarf Sektor Verkehr	kWh/a
Anteil elektrisch	16.652.316
Wasserstoff	1.318.210
restliche Energieträger	15.581.748
Gesamt	33.552.274

CO₂-Bilanz

CO ₂ -Bilanz nach Sektoren	t/a
Strombezug	423
Wärmeverbrauch	1.097
Verkehr	5.644
Gutschrift Einspeisung erneuerbare Energien	-4.512
Gesamt	2.652

Gesamtenergiebilanz

Gesamtenergiebilanz - Vergleich	kWh/a
Energiebedarf	84.220.245
Energieerzeugung erneuerbare Energien	172.408.915

Ist-Situation

1 Kläranlage der Größenklasse 4

Anlagenspezifikationen Weismain

Ausbaugröße 20.000 EW

Kläranlage: Belebungsanlage

Klärschlammmenge im Mittel ca. 7.000 m³
bei ca. 2,9 % TS (ca. 200 t_{TM}/a)

Mobile Entwässerung

Klärschlammverwertung

Mobile Entwässerung und Verwertung über
MSE

Lage der Kläranlage



Luftbild der Kläranlage Weismain



Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung - www.geodaten.bayern.de

Allgemeine Hinweise und Besonderheiten

- Kanal im Trennsystem
- Stationäre Entwässerung soll 2026 errichtet werden
- Brauerei leitet sehr warmes Abwasser (> 70°C) ein
- Einzelne Gehöfte liefern Klärschlamm an

Szenarien der Klärschlamm Entsorgung im Landkreis

Szenario 1: Verwertung des entwässerten Klärschlammes in geplanter Monoverbrennungsanlage in Schwandorf

Szenario 2: Trocknung und anschließender Transport zur geplanten Monoverbrennung im GKS Schweinfurt

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten

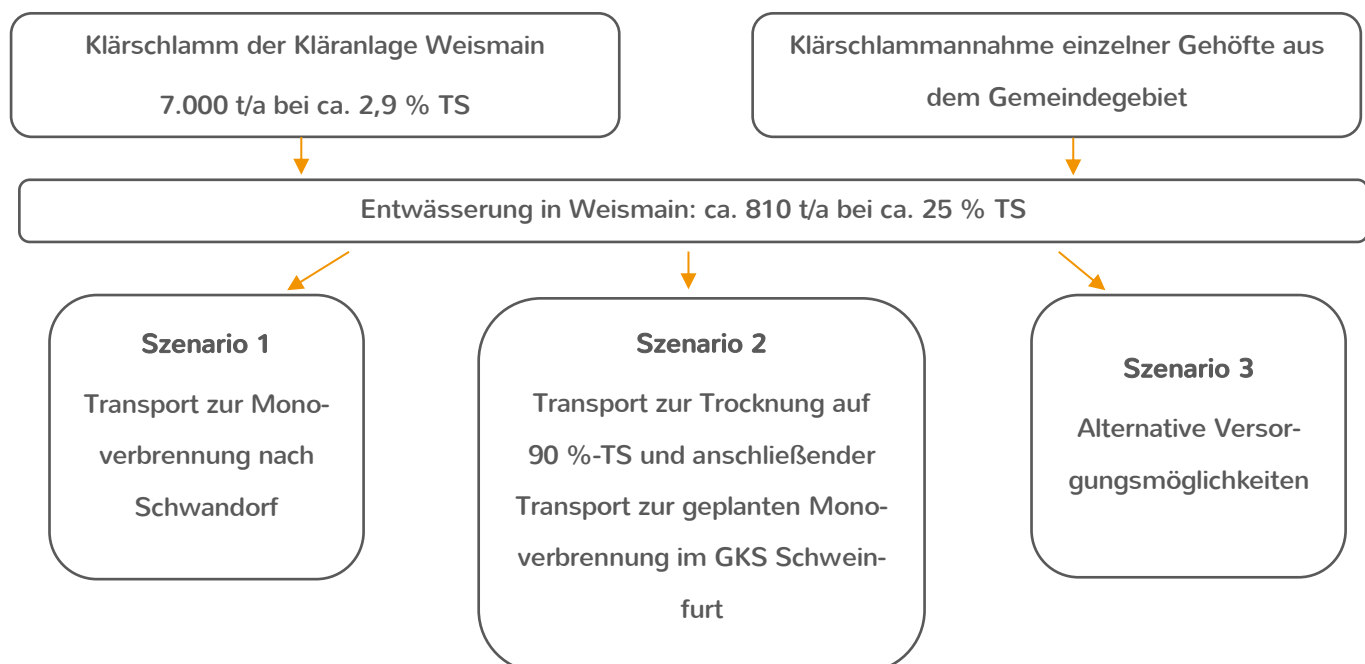
Bedeutung der Szenarien für Weismain

Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist die Entwässerung des gesamten Klärschlammes im Landkreis. Diese wird auf der Kläranlage in Weismain bereits mobil über einen Dienstleister umgesetzt. Zukünftig soll eine stationäre Schneckenpresse angeschafft werden.

In die Kläranlage Weismain wird Abwasser einer Brauerei mit sehr hohen Temperaturen behandelt. Diese Temperaturen können nur aufgrund des großen Belebungsbeckenvolumens gepuffert werden. Einzelne Gehöfte aus dem Gemeindegebiet, die nicht an den Kanal angeschlossen sind, liefern ihren Klärschlamm an die Kläranlage.

Die weiteren Schritte der Klärschlammverwertung sind in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht und werden im beiliegenden Bericht näher erläutert.

Wege des Klärschlammes im Entwässerungscluster



Szenario 1: Entwässerung und Monoverbrennung



Grundlage für jedes Verwertungsszenario ist das allgemeine Entwässerungskonzept. Die Grafik (links) zeigt die Kläranlagen des Landkreises Lichtenfels, an denen eine mobile oder stationäre Entwässerung vorhanden ist. Gemeinden, deren Klärschlamm gemeinsam an einer zentralen Kläranlage entwässert werden, bilden jeweils ein Entwässerungscluster. Sie sind farblich als Cluster zusammengefasst. Einzelheiten hierzu können dem begleitenden Abschlussbericht entnommen werden.

In **Szenario 1** wird die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes in einer thermischen Verwertungsanlage außerhalb des Landkreises dargestellt, hier in der geplanten Monoverbrennung in Schwandorf. Dabei sollte eine Phosphorrückgewinnung eingeplant sein.

Szenario 2: Klärschlamm-trocknung und Monoverbrennung im GKS Schweinfurt



Schwerpunkt in den Szenarien mit Klärschlamm-trocknung (**Szenario 2**) liegt in der Nutzung bislang freier Abwärmequellen. Hierfür wurden Biogasanlagen hinsichtlich ihrer verfügbaren Wärmekapazitäten analysiert.

Im Landkreis Lichtenfels konnten zwei geeignete Standorte zur Abwärmenutzung ermittelt werden. Die Karte zeigt die entsprechenden vorhandenen Standorte. Am Standort in Altenkunstadt fällt genügend Abwärme an, um den Klärschlamm des gesamten Landkreises zu trocknen. Am zweiten Standort in Lichtenfels steht die Abwärme nur im Sommer zur Verfügung.

Alternativ könnte der Klärschlamm auch an die geplante Trocknungsanlage am MHKW Coburg geliefert werden.

Ein möglicher Verwertungsweg des getrockneten Klärschlammes ist die geplante Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt.

Szenario 3: Alternative Versorgungsmöglichkeiten



Neben den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik, gibt es auch alternative stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (**Szenario 3**). Bei diesen Entsorgungsmöglichkeiten handelt es sich größtenteils um Verfahren, welche derzeit noch in der Pilotphase sind. Ziel ist bei diesen Verfahren den Klärschlamm nicht nur zu verwerten, sondern gleichzeitig einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Pyrolyse (Pyrolysegas) oder Wasserstoffherstellung. Mögliche Standorte sollten ausreichend Platz bieten und Synergieeffekte sollten vor Ort genutzt werden können.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die thermische Verwertung auf Landkreisebene anzustreben. In Hinblick auf alternative Verfahren sollten die Entwicklungen bezüglich Betriebsweise und Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren beobachtet werden.

Maßnahmenkatalog für die Stadt Weismain

Nr.	Maßnahme	Beschreibung und nächste Schritte	Verantwortliche Akteure
1	Prüfung von Energieeinsparmaßnahmen und effizienter Betrieb kommunaler Liegenschaften	Wie im Energienutzungsplan beschrieben, kommt der energetischen Sanierung bzw. dem effizienten Betrieb kommunaler Liegenschaften / Einrichtungen eine entscheidende Vorbildfunktion zu. Aus diesem Grund sollte auf einen effizienten energetischen Standard geachtet und frühzeitig Maßnahmen zu weiteren Optimierungsmaßnahmen angegangen werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Optimierung der Heizungssysteme gelegt werden. Bestehende Heizungen könnten hinsichtlich ihrer Effizienz geprüft und bei Bedarf durch moderne, energieeffiziente Systeme ersetzt werden. Der Fokus sollte dabei auf Heizsystemen liegen, die bevorzugt mit erneuerbaren Energien betrieben werden (z. B. Wärmepumpen, Biomasseanlagen, etc.). Darüber hinaus sollten auch andere technische Anlagen wie Lüftungssysteme, Beleuchtung und Pumpen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert werden. Ein zentraler Bestandteil wäre die kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs dieser Liegenschaften, um gezielt Einsparmaßnahmen zu identifizieren und deren Wirkung zu überprüfen. Eine strukturierte Energie- und Verbrauchsdatenanalyse könnte als Grundlage für langfristige Optimierungen und Investitionsentscheidungen dienen. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde bereits eine Übersicht der Verbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt und mittels GIS-Simulation die spezifischen Wärmeverbräuche ermittelt. Aufbauend darauf wird empfohlen, gezielt folgende Gebäude auf mögliche Effizienzsteigerungen zu prüfen und Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion umzusetzen: - Bauhof - Kläranlage - Kastenhof - Grundschule	Kommune
2	Prüfung PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften	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 in Kombination mit einem Batteriespeicher unterzogen werden. Vor allem bei Gebäuden mit einem hohen Stromverbrauch, sollte aufgrund der erhöhten Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms und einem damit einhergehenden verringerten Netzbezug, diese Möglichkeit geprüft werden. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde eine Übersicht der Stromverbrauchsdaten kommunaler Liegenschaften erstellt. Für folgende Liegenschaften wird u. a. die Prüfung einer PV-Anlage empfohlen: - Bauhof - Feuerwehrhaus Geutenreuth - Feuerwehrhaus Großziegenfeld - Feuerwehrhaus Schammendorf - Feuerwehrhaus Wallersberg	Kommune

3	Wärmekataster als Grundlage für die Kommunale Wärmeplanung	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde für die Stadt Weismain ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, das detaillierte Informationen zur bestehenden Wärmeversorgung enthält. Dabei konnte ein Schwerpunktgebiet mit hoher Wärmedichte identifiziert werden, das sich potenziell für die Errichtung eines Wärmenetzes eignen könnte. Dieses sollte im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung besonders in den Fokus genommen werden. Mögliches Schwerpunktgebiet mit hoher Wärmedichte: - Gebiet "Am Markt" Zudem wurden Unternehmen und bestehende KWK-Anlagen mit nutzbaren Abwärmepotenzialen erfasst und in das Geoinformationssystem integriert. Diese Daten bieten eine belastbare Grundlage für die zukünftige kommunale Wärmeplanung und die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur nachhaltigen Wärmeversorgung. Zur weiteren Konkretisierung könnten die bereits im Wärmekataster enthaltenen Daten aufgegriffen und verfeinert werden. Dies könnte durch eine gezielte Erhebung wärmerrelevanter Daten aus Unternehmen, kommunalen Liegenschaften und privaten Haushalten erfolgen. Ergänzend ließe sich das Interesse an einem Wärmenetzanschluss sowie an der Bereitstellung von Wärme für Netze erfassen. In der kommunalen Wärmeplanung werden darüber hinaus alle weiteren Teilgebiete im Detail betrachtet und auf die Eignung für unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten geprüft. Durch eine enge Verzahnung von Energienutzungsplan und kommunaler Wärmeplanung könnten Synergien optimal genutzt und eine langfristige, strategische Planung der zukünftigen Wärmeversorgung in Weismain vorangetrieben werden.	Kommune
4	Optimierung der Klärschlamm-entwässerung und Abwärmenutzung der Kläranlage Weismain	Für die Kläranlage Weismain wird empfohlen, eine Schneckenpresse zur stationären Entwässerung anzuschaffen. Zudem sollten die hohen Temperaturen im Abwasser, welche durch die Brauerei entstehen, genutzt werden. Dies ist bereits im Kanal möglich, durch einen Abwasserwärmetauscher. Die Abwärme kann von einer Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung genutzt werden, um Gebäude (z. B. über ein Wärmenetz) zu versorgen. Auch die Wärmeversorgung des Betriebsgebäudes wäre mit der Wärme des Abwassers und einer Wärmepumpe möglich. Durch die Abkühlung des Abwassers wird die Biologie der Kläranlage ggf. etwas entlastet. Alternativ kann ggf. die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage auch über eine Wärmepumpe mit Abwärmenutzung der Gebläse erfolgen. Diese Umstellung muss vorab im Detail geprüft werden.	Kommune

5	Aktive Nutzung der Windkraftpotenziale in Weismain	Im Stadtgebiet Weismain befinden sich laut Regionalem Planungsverband ausgewiesene Vorrangflächen für Windkraft. Im Rahmen des Energienutzungsplans wurde hier ein technisches Potenzial für bis zu 8 Windkraftanlagen à 7,2 MW mit einem jährlichen Stromertrag von rund 115,2 Mio. kWh ermittelt. Vor dem Hintergrund der bundesweiten Flächenziele gemäß Windan-Land-Gesetz und der gelockerten Abstandsregelungen in Bayern wird empfohlen, dass sich die Gemeinde frühzeitig aktiv mit den Potenzialflächen auseinandersetzt, um die Planungshoheit zu wahren und lokale Wertschöpfung zu sichern. Dazu zählt unter anderem die Kontaktaufnahme mit Projektentwicklern, die Abstimmung mit dem Regionalwerk sowie die Berücksichtigung von Kriterien zur Flächennutzung, Bürgerbeteiligung und finanziellen Teilhabe in kommunale Entscheidungsprozesse.	Kommune / Regionalwerk
5	Nutzung geeigneter Flächen für Freiflächen-Photovoltaik in Weismain	Im Rahmen des Energienutzungsplans wurden auf Basis eines standardisierten Kriterienkatalogs potenziell geeignete Flächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik im Stadtgebiet Weismain identifiziert. Insgesamt wurden rund 682 Hektar ermittelt, die für eine solare Nutzung grundsätzlich in Frage kommen. Zur Erreichung der im Energienutzungsplan definierten Zielmarke von 1,5 % der landwirtschaftlichen Fläche ergibt sich für Weismain ein realistisches Ausbauziel von rund 59 Hektar, auf denen jährlich etwa 59 Mio. kWh Strom erzeugt werden könnten. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass sich die Kommune frühzeitig aktiv mit der konkreten Flächenentwicklung auseinandersetzt. Dazu zählt insbesondere die Einbindung des Regionalwerks, die Beteiligung der Öffentlichkeit sowie die Prüfung von Beteiligungs- und Vermarktungsmodellen, um die lokale Wertschöpfung zu stärken.	Kommune / Regionalwerk