

# Energienutzungsplan Feldkirchen- Westerham

---

Abschlussbericht

Erstellt von: ecb - energie.concept.bayern. GmbH & Co.KG  
Geigelsteinstraße 5c  
83209 Prien a. Chiemsee

Version: 1.0

Erstellt: 15.01.2024

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>AUFTRAGSRAHMEN</b> .....	<b>6</b>
1.1	INHALT UND AUFBAU .....	6
<b>2.</b>	<b>GEMEINDEBESCHREIBUNG</b> .....	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>ENERGIEBILANZ IST-ZUSTAND</b> .....	<b>9</b>
3.1	ENERGIEINFRASTRUKTUR .....	9
3.1.1	Windkraftanlagen .....	9
3.1.2	Photovoltaik-Anlagen .....	9
3.1.3	Biomasseanlagen (Heizkraftwerke) .....	11
3.1.4	Biogasanlagen .....	13
3.1.5	Wasserkraftanlagen (EEG und nicht EEG gefördert) .....	14
3.1.6	Tiefengeothermie .....	16
3.1.7	BHKW-Anlagen (EEG und KWK-Gesetz gefördert) .....	16
3.1.8	Solarthermische Anlagen .....	18
3.1.9	Wärmepumpen auf Basis Oberflächennaher Geothermie .....	18
3.1.10	Gasnetze .....	20
3.1.11	Stromnetze der Mittelspannungs- und Hochspannungsebene .....	22
3.1.12	Wärmenetze .....	25
3.2	WÄRME .....	26
3.2.1	Gebäudescharfes Wärmekataster .....	26
3.2.2	Energiebilanz Wärme in Betrachtungsgebiet .....	28
<b>4.</b>	<b>POTENZIALANALYSE ENERGIEEINSPARUNG</b> .....	<b>33</b>
4.1	WÄRME .....	33
4.1.1	Private Haushalte .....	33
4.1.2	Öffentliche Gebäude .....	35
4.1.3	Wirtschaft .....	35
<b>5.</b>	<b>POTENZIALANALYSE ENERGIEERZEUGUNG</b> .....	<b>36</b>
5.1	ABWÄRME .....	37
5.2	PV / SOLARTHERMIE .....	37
5.3	PV-FREIFLÄCHE .....	40
5.4	KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG .....	44
5.5	OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE .....	45
5.6	WINDKRAFT .....	51
5.7	TIEFE GEOTHERMIE .....	57
<b>6.</b>	<b>MAßNAHMENKATALOG</b> .....	<b>59</b>

<b>7.</b>	<b>SCHWERPUNKTPROJEKT AREALVERSORGUNG .....</b>	<b>83</b>
7.1	TECHNISCHE DIMENSIONIERUNG EINER AREALNETZLÖSUNG .....	87
7.1.1	<i>Variante 1: Biomethan BHKW .....</i>	<i>87</i>
7.1.2	<i>Variante 2: Solarthermie .....</i>	<i>91</i>
7.1.3	<i>Variante 3: Erdsonden.....</i>	<i>94</i>
7.1.4	<i>Variante 4: Grundwasser.....</i>	<i>97</i>
7.2	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG .....	99
7.2.1	<i>Variante 1.....</i>	<i>100</i>
7.2.2	<i>Variante 2.....</i>	<i>100</i>
7.2.3	<i>Variante 3.....</i>	<i>103</i>
7.2.4	<i>Variante 4.....</i>	<i>104</i>
<b>8.</b>	<b>FAZIT UND EMPFEHLUNG.....</b>	<b>105</b>
<b>9.</b>	<b>HAUPTQUELLEN.....</b>	<b>107</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AP	Fernwärme Arbeitspreis (EUR/kWh)
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BP	Fernwärme Bereitstellungspreis (EUR/kW)
BVK	Bayrische-Versorgungskammer
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance
ecb	energie.concept.bayern GmbH & Co. KG
DE	Deutschland
EE	Erneuerbare Energien
EH	Effizienzhaus
EUR	Euro
FFPV	PV-Freiflächenanlagen
FFST	Freiflächen Solarthermie
FW	Fernwärme
GBL	Grundbaulabor München
GWh	Gigawattstunden
g	Gramm
HT	Hochtarif
IPV	Innovative Planung Versorgungstechnik Karavokyris Partnerschaft Beratender Ingenieure mbB
JAZ	Jahresarbeitszahl
JDL	Jahresdauerlinie
K	Kelvin
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme Kopplung

LfStat	Bayerisches Landesamt für Statistik
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mio.	Millionen
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
NH	Niedrigenergiehaus
NT	Niedertarif
PV	Photovoltaikanlage
SWM	Stadtwerke München
t	Tonnen
T	Temperatur
THG	Treibhausgase
WP	Wärmepumpe

## 1. Auftragsrahmen

Die Energiewende hat sich in den vergangenen Jahren zu einem zentralen Diskussionsgegenstand in Politik, Gesellschaft und Wirtschaft entwickelt. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Ressourcen und zur Eingrenzung des prognostizierten Klimawandels muss die Umstellung auf klimaschonende, regenerative Energieträger sowie die Energieeinsparung und Steigerung der Effizienz vorangetrieben werden. Diese Herausforderung liegt nicht zuletzt bei den Bürgern, Gemeinden, Städten und Landkreisen.

Die Gemeinde Feldkirchen-Westerham im Landkreis Rosenheim (Oberbayern) hat sich dieser Thematik angenommen und Anfang 2023 die Erstellung eines Energienutzungsplanes (ENP) in Auftrag gegeben. Die Erstellung des ENP wird über das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert und von der Firma ecb – energie.concept.bayern. GmbH & Co. KG aus Prien am Chiemsee umgesetzt. Die Gemeinde hat sich dabei zum Ziel gesetzt, die Energiewende auf kommunaler Ebene umzusetzen. Der hierbei bereits seit einigen Jahren erfolgreich eingeschlagene Weg soll nun fortgesetzt werden. Der Energienutzungsplan soll dabei als mittel bis langfristigen Leitfaden dienen und helfen, den Anforderungen der sich wandelnden Energieinfrastruktur gerecht zu werden. Zu diesen zentralen Anforderungen zählen die Energieeinsparung, die Steigerung der Energieeffizienz sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien. Im Sinne eines Schwerpunktprojektes wurde die ecb beauftragt, eine konzeptionelle Arealversorgung (eine Wärmeverbundlösung in Kombination mit einem Stromnetz) zu entwickeln und diese auf technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit zu prüfen.

### 1.1 Inhalt und Aufbau

Im ersten Teil der Ausarbeitung wird kurz auf die Gemeinde eingegangen. Es folgt eine umfassende Datenerhebung und Analyse des Energieverbrauchs. Dabei wird zwischen dem thermischen und elektrischen Energiebedarf unterschieden. Der Wärmebedarf wird in die Verbrauchergruppen private Haushalte, kommunale Objekte und Wirtschaft unterteilt und außerdem die jeweiligen Energieverbräuche den entsprechenden Primärenergieträgern zugeordnet.

Im Anschluss an die Datenerhebung erfolgt die Analyse der lokalen Energieeffizienz-, Einspar- und Erzeugungspotenziale. Im Feld der erneuerbaren Energien wird dabei neben Sonnenenergie auch auf Potenziale der Windkraft, Geothermie sowie Kraft-Wärme-Kopplung eingegangen.

Die Informationen aus den Ist- und Potentialanalysen werden darauffolgend in einem umsetzungsorientierten und praxisbezogenen Maßnahmenkatalog, der konkrete Handlungsempfehlungen aufzeigt, integriert. In dem Maßnahmenkatalog werden u.a. die sinnvollsten Maßnahmen, der erforderliche Zeitraum, Fördermöglichkeiten sowie die erforderlichen Handlungsschritte ausgeleuchtet. Der Maßnahmenkatalog wurde ausführlich mit den Akteuren vor Ort abgestimmt.

Letztendlich wird in diesem Konzept untersucht, ob der Aufbau bzw. Ausbau einer Arealversorgung (Wärmeverbundlösung in Kombination mit einem Stromnetz) technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Hierfür wurde ein bestimmter Bereich anhand des Wärmekatasters und in Abstimmung mit der Gemeinde sowie des zuständigen Stromnetzbetreibers ausgesucht. Es wird eine Trassenführung und Leitungsdimensionierung aufgestellt sowie Berechnungen der resultierenden Netzverluste durchgeführt. Die Zusammenstellung der untersuchten Varianten für die Energieversorgung erfolgte in Abstimmung mit den Akteuren vor Ort. Für jeden von diesen Varianten folgt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Anlehnung an die VDI 2067 (Vollkostenrechnung).

Mittels der erarbeiteten Konzepte ist es der Gemeinde Feldkirchen-Westerham möglich, eine nachhaltige Struktur zu entwickeln, welche den bereits erfolgreich eingeschlagenen Weg durch die kommunale Energiewende erleichtern und fokussieren kann.

Ergänzt wird das Konzept durch umfangreiches Kartenmaterial im Anhang, welches der Gemeinde auch in Form von Geodaten zur Verfügung gestellt wird.

## 2. Gemeindebeschreibung

Die Gemeinde Feldkirchen-Westerham, Teil des Landkreises Rosenheim, befindet sich im Südosten Bayerns am Rande der Nördlichen Kalkalpen. Die Gemeinde befindet sich zwischen München und Rosenheim und weist eine Fläche von ca. 53 km<sup>2</sup>, sowie eine Einwohneranzahl von 11.334 (Stand 02.01.2023) auf. Die Landnutzung wird von Land- und Forstwirtschaft (jeweils ca. 25 km<sup>2</sup> und 19 km<sup>2</sup>) dominiert.

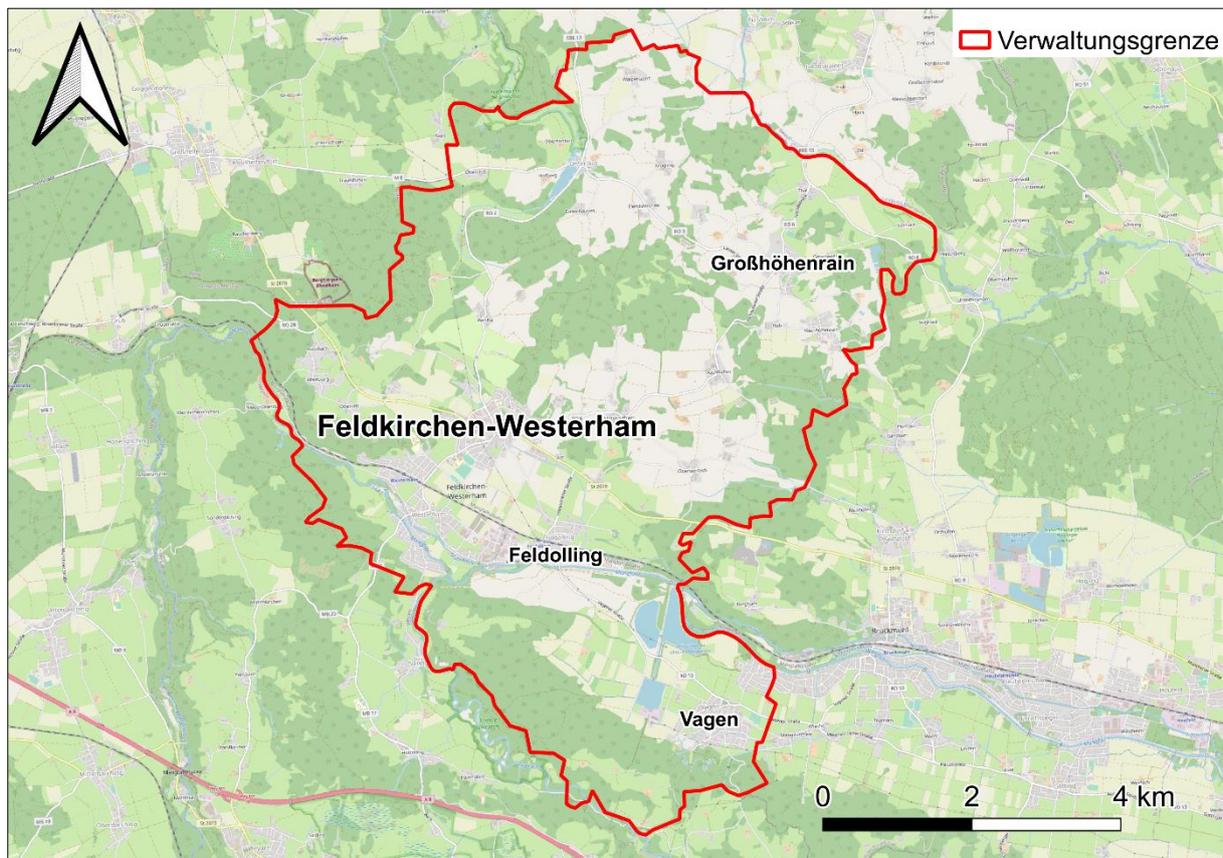


Abbildung 1: Übersichtskarte des Projektgebietes. Datenquelle Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

Im direkten Zusammenhang mit der Bevölkerungszahl steht der Gebäudebestand (vgl. Tabelle 1), der den Wärmebedarf und dessen räumliche Verteilung wesentlich beeinflusst. Die Anzahl der Haushalte ergibt sich dabei über die Anzahl der Wohnungen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden.

Tabelle 1: Bestand an Wohngebäude und Haushalte in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham (Stand: 2020). Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Statistik.

Wohngebäude	Haushalte	EW/Haushalt
2.920	4.838	2,3

### 3. Energiebilanz Ist-Zustand

Im folgenden Kapitel erfolgt eine Beschreibung des aktuellen Stands der Energieinfrastruktur der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Die bestehenden Energienetze und Anlagen zur Energieerzeugung werden ausführlich behandelt. In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham wurde im Jahr 2022 ca. 85.753 MWh Strom verbraucht.

#### 3.1 Energieinfrastruktur

##### 3.1.1 Windkraftanlagen

Es sind zur Zeit des Konzeptes keine Windkraftanlagen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham vorhanden.

##### 3.1.2 Photovoltaik-Anlagen

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham befinden sich gemäß Energie-Atlas Bayern ([www.energieatlas.bayern.de](http://www.energieatlas.bayern.de)) Anfang 2023 ca. 958 PV-Anlagen. Die Gesamtstromproduktion dieser Anlagen umfasste im Jahr 2022 etwa 13.829.079 kWh.

In den Jahren 2008 bis 2012 wurden viele neuen PV-Anlagen in Betrieb genommen, wonach es über den darauffolgenden Jahren wieder abschwächte. Seit 2020 gibt es wieder eine Zunahme an neuen PV-Anlagen. Insgesamt ergibt sich aus den PV-Anlagen eine Gesamtleistung von 16.726 kWp.

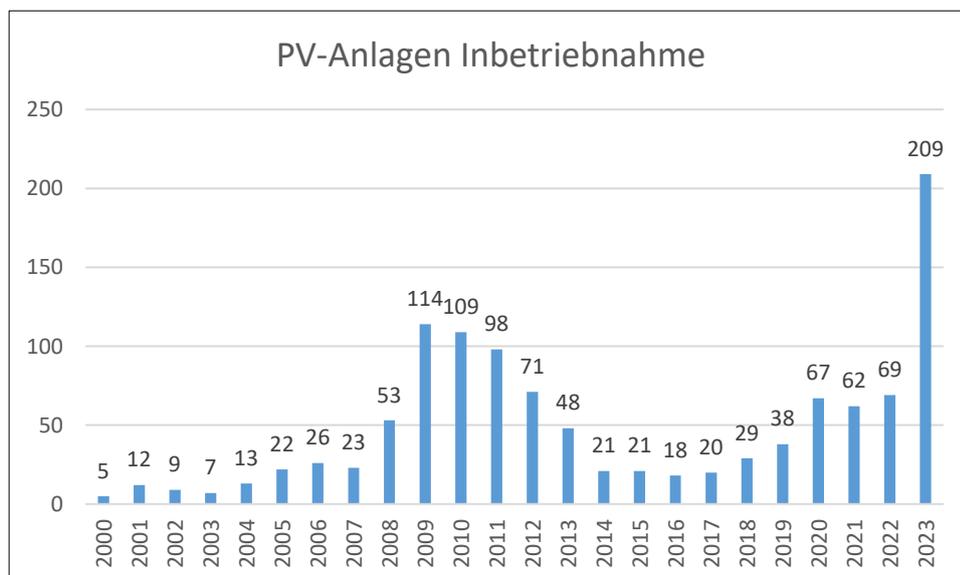


Abbildung 2: Überblick der Anmeldungen von PV-Anlagen pro Jahr. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de/Marktstammdatenregister](http://www.lfu.bayern.de/Marktstammdatenregister)

Abbildung 3 zeigt die geografische Verteilung der nicht-privaten PV-Anlagen. Die privaten PV-Anlagen dürfen aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht dargestellt werden.

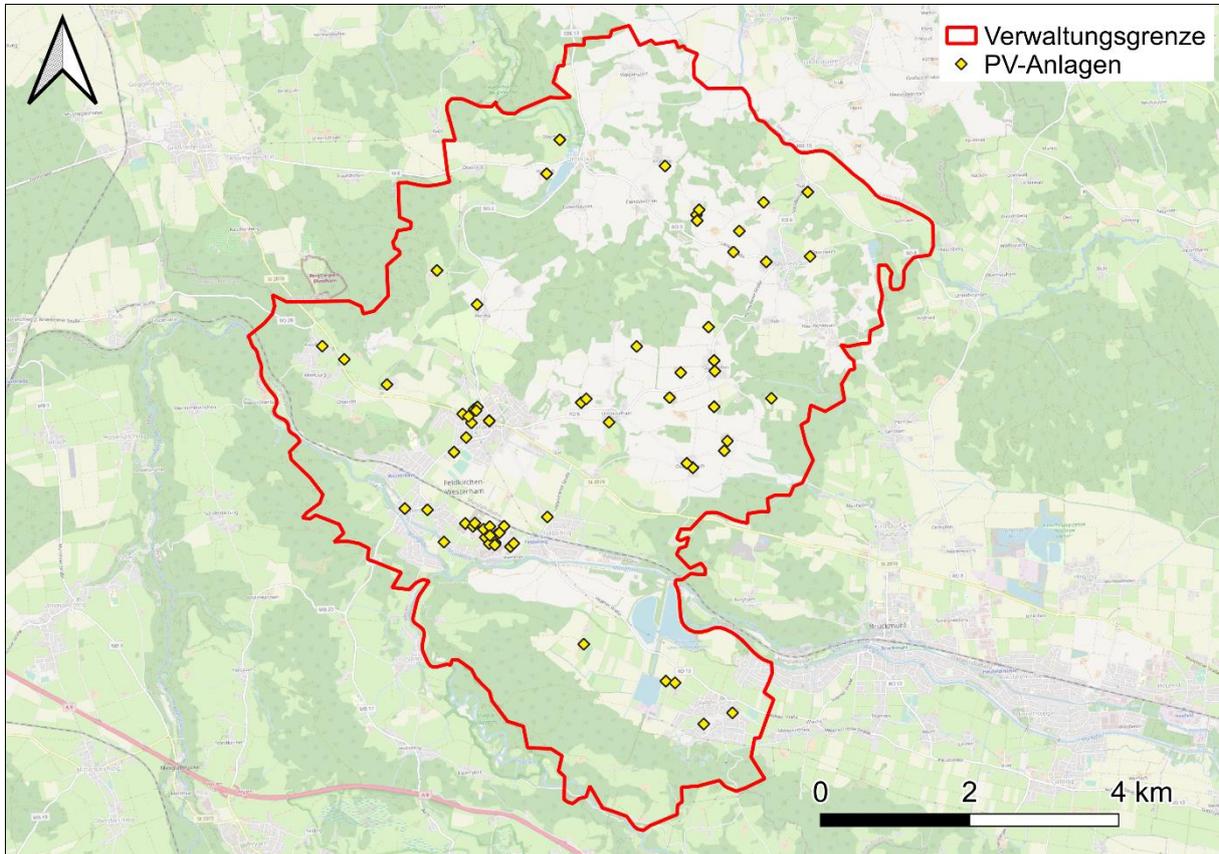


Abbildung 3: Übersicht der nicht-privaten PV-Anlagen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de). Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

Pro Einwohner wurde im Jahr 2022 ca. 1.220 kWh Strom mit PV-Anlagen produziert. Die PV-Anlagen deckten insgesamt ca. 16,1% des gesamten Stromverbrauchs ab. Private Letztverbraucher verbrauchten im Jahr 2022 etwa 14.764 MWh Strom. Der derzeitige PV-Bestand deckt somit fast 94% des privaten Verbrauchs ab.

### 3.1.3 Biomasseanlagen (Heizkraftwerke)

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham befinden sich 7 Biomasseheizkraftwerke die feste Brennstoffe benutzen. Die Kraftwerke stammen unter anderem aus 2003 (2 Stück), 2007 und 2013. Außer das Kraftwerk 2013, welches Holzpellets als Brennstoff benutzt, werden alle Biomasseheizkraftwerke mit Holzhackschnitzel betrieben.

Tabelle 2: Übersicht der Biomasseheizkraftwerke in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham.  
 Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

#	Inbetriebnahme	Brennstoff	Nennwärmeleistung Biomasse	Nennwärmeleistung Gesamt	Versorgte Objekte
1	2003	Holzhackschnitzel	0,15 MW	0,15 MW	2 Wohnhäuser, Büro und Geschäft
2	2003	Holzhackschnitzel	0,22 MW	0,44 MW	Arbeiterwohlfahrt, Schwesternwohnheim, Altenwohnheim
3	2007	Holzhackschnitzel	0,3 MW	0,68 MW	Grund- und Hauptschule, Turnhalle, Mehrzweckhalle
4	2013	Holzpellets	0,85 MW	2,6 MW	Höhenrainer Delikatessen GmbH
5	?	Holzhackschnitzel	?	?	2 Private Gebäude, Feuerwehr Unterlaus
6	?	Holzhackschnitzel	0,22 MW	0,412 MW	5 Private Gebäude, KiWest
7	?	Holzhackschnitzel	0,35 MW	?	11 Private Gebäude, Rathaus

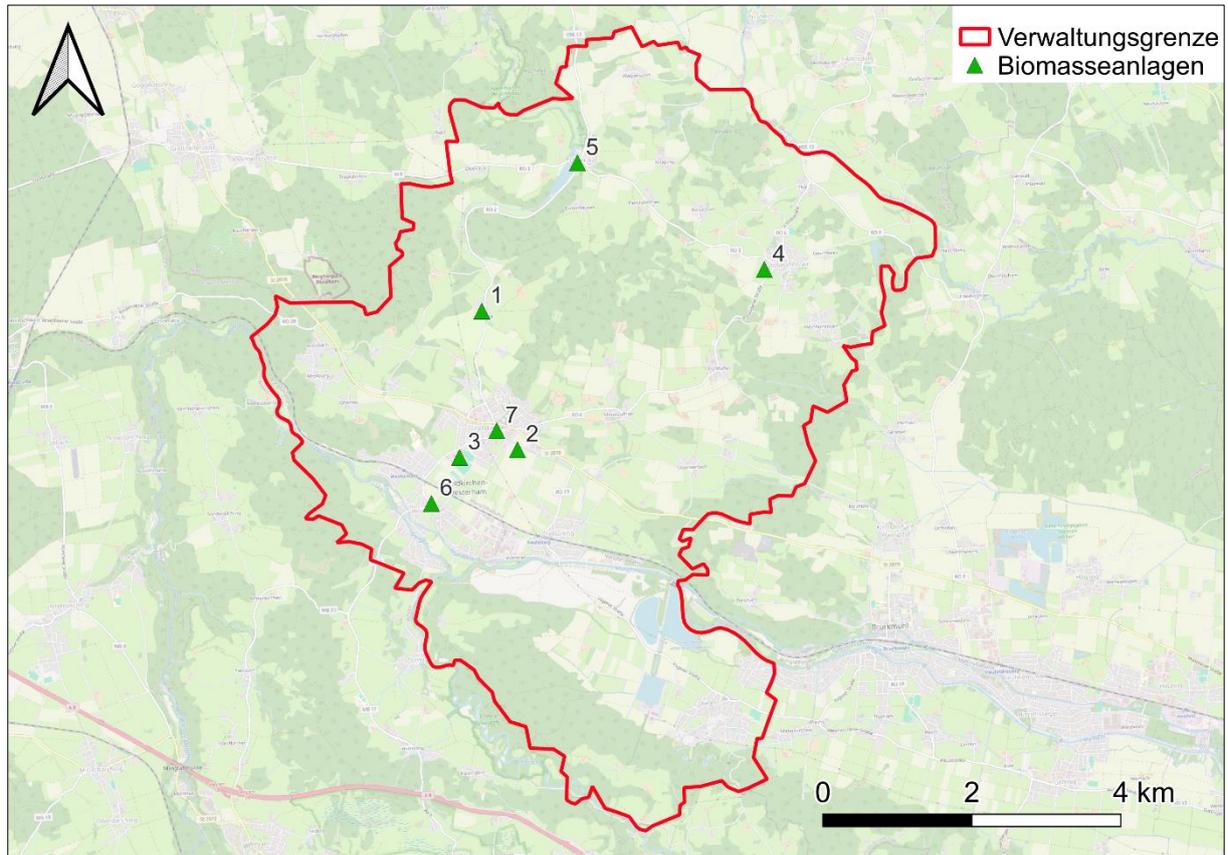


Abbildung 4: Übersicht der Biomasseheizkraftwerke in der Gemeinde Feldkirchen Westerham mit Angaben der Nennwärmeleistung Biomasse in MW. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de). Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

### 3.1.4 Biogasanlagen

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham befinden sich 8 Biogasanlagen, die alle über Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Strom und Wärme produzieren.

Table 3: Übersicht der Biogasanlagen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham.  
 Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

#	Inbetriebnahme	Elektrische Leistung	Stromproduktion (2021 / 2022)	Wärmeproduktion (2022)
1	2004	150 kW	1.000.000 kWh	1.200.000 kWh
2	2005	250 kW	1.552.523 kWh	k.A.
3	2005	4.523 kW	21.000.000 kWh	17.000.000 kWh
4	2006	150 kW	1.200.000 kWh	480.000 kWh
5	2006	272 kW	1.734.292 kWh	k.A.
6	2006	780 kW	4.248.425 kWh	k.A.
7	2008	1.631 kW	4.303.947 kWh	k.A.
8	2010	1.694 kW	3.909.857 kWh	k.A.

Insgesamt wurden im Jahr 2022 31.373.501 kWh Strom durch die Biogasanlagen produziert, etwa 2.768 kWh pro Einwohner. Dies deckte ca. 36,6 % des Stromverbrauchs im Jahr 2021 ab. Die Wärmeerzeugungsmengen sind nicht von jeder Anlage bekannt. Das Biogas wird aus NAWARO (Grassilage, Maissilage), Mist und Gülle hergestellt. Einer der Biogasanlagen (Objektnummer 1371645) gibt an, nur 62,5% der erzeugten Wärme zu benutzen, die übrige Wärme (450.000 kWh) muss über Notkühler entsorgt werden. Auch die Bio Energie Moser GmbH & Co. KG gibt, an nur etwa 50% der erzeugten 17 GWh wirklich zu brauchen. Die übrigen 50% geht in die Eigenversorgung und speist ein Nahwärmenetz.

Das Klärwerk Feldkirchen Westerhams erzeugte im Jahr 2022 161.470 m<sup>3</sup> Klärgas. Das Klärgas wurde in einer Mikrogasturbine in 146.060 kWh Strom und 320.970 kWh Wärme umgesetzt. Diese Energie wird direkt in der Kläranlage benutzt, wodurch ca. 30% Strom eingespart werden. Die fehlende benötigte Restwärme wird mit einer Ölheizung (ca. 12.000 - 15.000 l Heizöl/a) nacherzeugt.

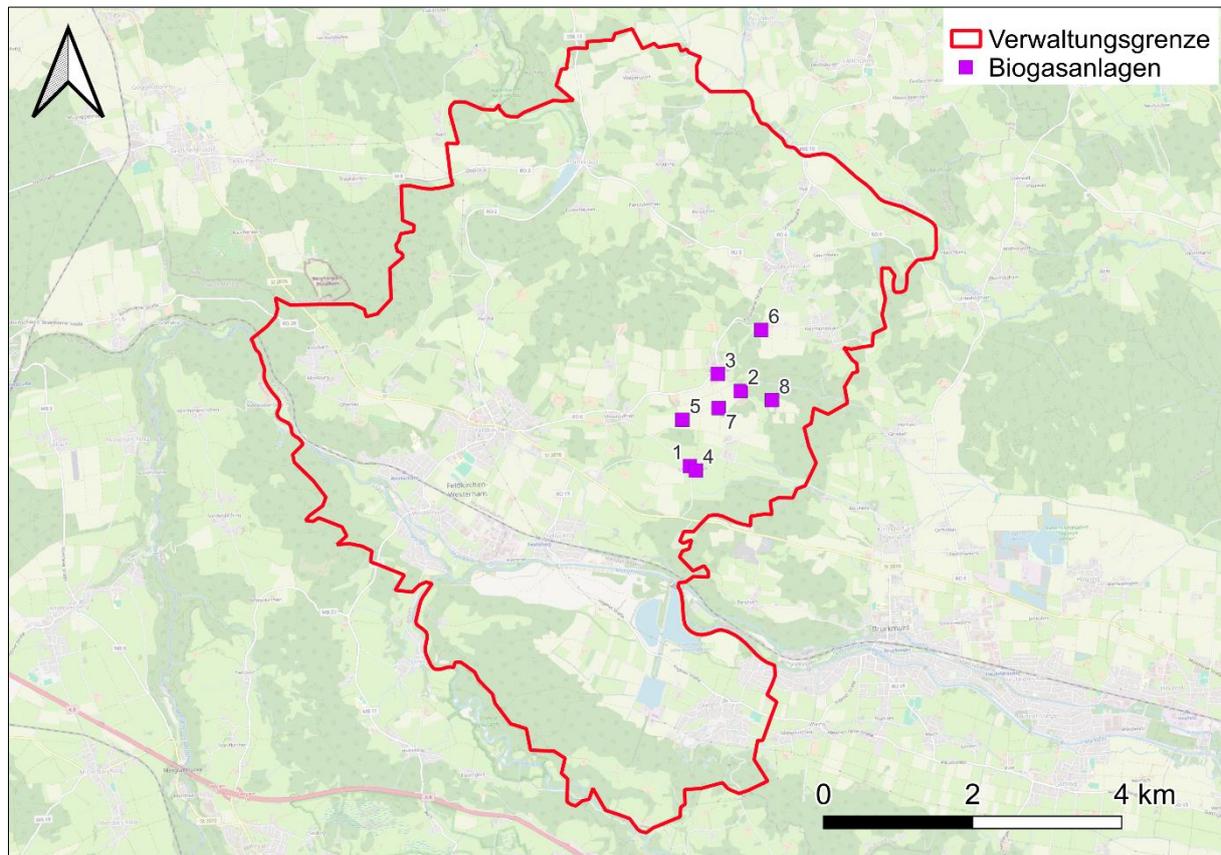


Abbildung 5: Übersicht der Biogasanlagen in der Gemeinde Feldkirchen Westerham mit Angaben der elektrischen Leistung in kW. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de). Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

### 3.1.5 Wasserkraftanlagen (EEG und nicht EEG gefördert)

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham befinden sich 9 Wasserkraftanlagen. Es handelt sich bei mindestens 7 der Anlagen um Laufwasserkraftwerke, wovon eine schwellfähig ist. Das schwellfähige Laufkraftwerk befindet sich in der Leistungsklasse 501 – 999 kW. Die anderen 6 Laufkraftwerke liegen alle in der Leistungsklasse 0 – 500 kW. Gemäß Aussagen der Energieversorger wurden im Jahr 2022 durch die Wasserkraftwerke insgesamt ca. 473 MWh Strom eingespeist. Insgesamt wurde damit ca. 0,6% des Stromverbrauchs in 2022 durch Wasserkraftanlagen gedeckt. Dies ergibt eine Stromproduktion von ca. 42 kWh pro Einwohner. Es muss hier jedoch angemerkt werden, dass von einer der Anlagen in Vagen die Erzeugungswerte fehlen.

Die Leitzachwerke 1 und 2 befinden sich ebenfalls in der Gemeinde und verfügen über eine mittlere jährliche Erzeugung von ca. 142.000 MWh pro Jahr. Sie gehören jedoch den Stadtwerken München und fallen somit nicht in die Bilanz der Gemeinde Feldkirchen-Westerham.

Tabelle 4: Übersicht der Wasserkraftanlagen in Feldkirchen-Westerham. Datenquelle: Marktstammdatenregister

#	Name der Einheit	Inbetriebnahmedatum	Bruttolistung (kW)	Nettonennleistung (kW)
1	Voith Turbine Schloss Vagen	01.07.1906	10	6
2	Turbine EWG Vagen	02.01.1915	19	19
3	Generator Wiesboeck GbR	01.08.1919	7,5	4
4	ABR950824058070	10.12.1925	40	40
5	SWM Leitzach 3 M2	14.08.1964	355	355
6	SWM Leitzach 3 M1	15.08.1964	355	355
7	WKW Schnaitt	09.11.1965	79,1	79,1
8	SWM Leitzach Hausmaschine	08.04.1970	623	623
9	Wasserkraftwerk KUNZE Konzept	31.01.1995	11	5

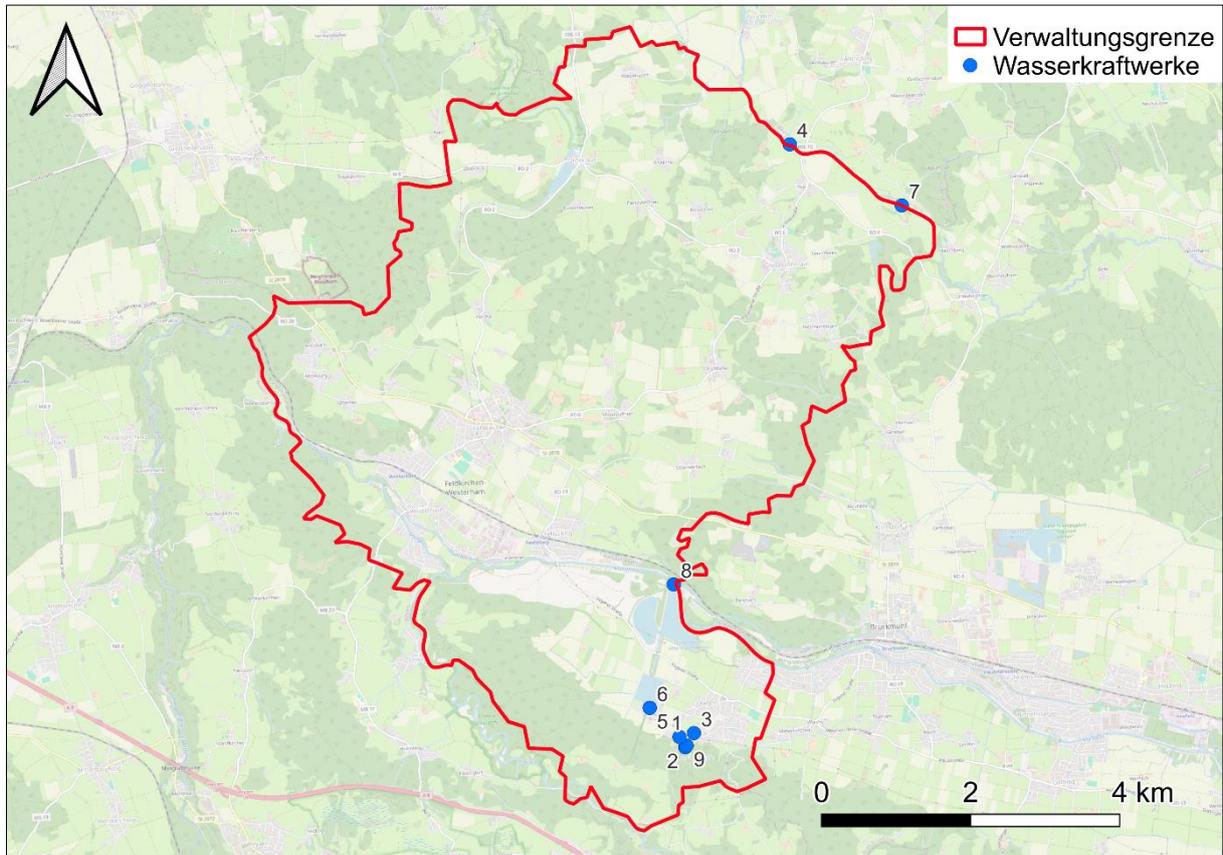


Abbildung 6: Übersicht der Wasserkraftanlagen in der Gemeinde Feldkirchen Westerham mit Angaben der elektrischen Leistung in kW. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de). Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

### 3.1.6 Tiefengeothermie

Es sind zur Zeit des Konzeptes keine Tiefengeothermieanlagen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham vorhanden.

### 3.1.7 BHKW-Anlagen (EEG und KWK-Gesetz gefördert)

In der Gemeinde sind insgesamt 9 EEG und KWK-Gesetz-geförderten BHKW-Anlagen vorhanden, wovon eine (Rapsöl BHKW) stillgelegt wurde. Die vorhandene BHKWs werden in Tabelle 5 dargestellt. Geodaten zu den BHKW-Anlagen liegen nicht vor.

Tabelle 5: Übersicht der Blockheizkraftwerke in Feldkirchen-Westerham. Datenquelle: Marktstammdatenregister

Name der Einheit	Inbetriebnahmedatum	Energieträger	Bruttoleistung (kW)	Nettonennleistung (kW)
BHKW Dachs	24.01.2002	Mineralölprodukte	5,3	5,3
BHKW	13.09.2005	Erdgas	5,5	5,5
Rapsöl BHKW	21.09.2007	Biomasse	5	5
Dachs BHKW	10.05.2012	Mineralölprodukte	5,3	5,3
Lechner BHKW	22.11.2013	Erdgas	22	22
SWM Leitzach BHKW1	22.12.2016	Erdgas	19	19
BHKW	01.01.2020	Erdgas	9	8,5
BHKW	12.02.2021	Erdgas	7,5	7,5
BHKW 134 kW	01.11.2021	Erdgas	134	134

### 3.1.8 Solarthermische Anlagen

Daten zu solarthermischen Anlagen wurden vom Portal Solaratlas zur Verfügung gestellt. Der Ausbau von solarthermischen Anlagen in der Gemeinde steigt gemäß Abbildung 7 weiter an. Im Januar 2022 befanden sich in der Gemeinde 432 solarthermische Anlagen mit einer Kollektorfläche von 4.511 m<sup>2</sup>. Bei einer eher konservativen Schätzung von 400 kWh/m<sup>2</sup> werden somit etwa 1,8 GWh/a an solarer Wärme in der Gemeinde erzeugt. Aus dem Energiekonzept Feldkirchen-Westerham vom März 2014, erstellt durch die ecb GmbH, wird klar, dass in 2011 ca. 783 MWh/a Wärme durch solarthermische Anlagen erzeugt wurde. Im Jahr 2011 betrug der Anteil solar erzeugter Wärme nur 0,8% am Gesamtwärmebedarf (ohne Industrie) der Gemeinde. In 2022 wurde 6,67% der Wärme (ohne GHD und Industrie) durch solarthermische Anlagen erzeugt. Inklusive GHD und Industrie wird nur 0,5% der Wärme durch solarthermische Anlagen erzeugt.

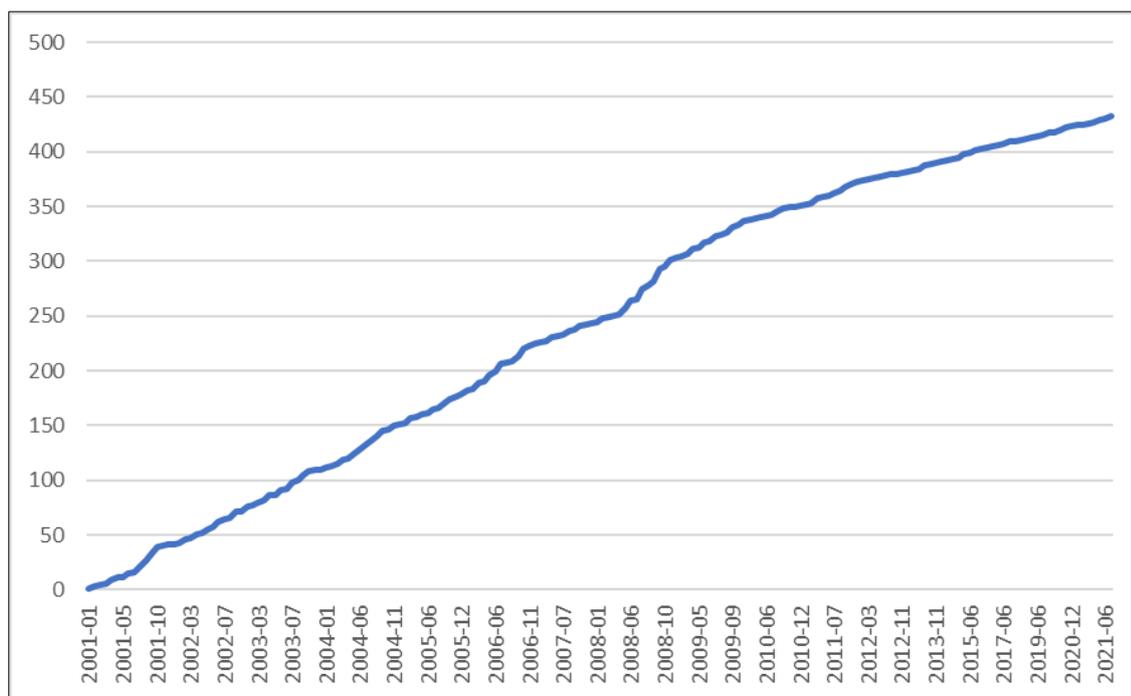


Abbildung 7: Entwicklung von solarthermischen Anlagen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Datenquelle: Solaratlas

### 3.1.9 Wärmepumpen auf Basis Oberflächennaher Geothermie

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham befinden sich 33 Erdwärmesonden verteilt auf 7 Standorte (vgl. Abb. 8). Die Erzeugungswerte dieser Anlagen ist nicht bekannt und kann ohne Umfrage nicht herausgefunden werden, was nicht Bestandteil des vorliegenden Energienutzungsplanes ist. Die Endteufen der Bohrungen liegen zwischen 42 m und 74 m unter GOK. Im Jahr 2011 wurden gemäß Energiekonzept Feldkirchen-Westerham von ecb ca. 196 MWh/a durch Wärmepumpen erzeugt.

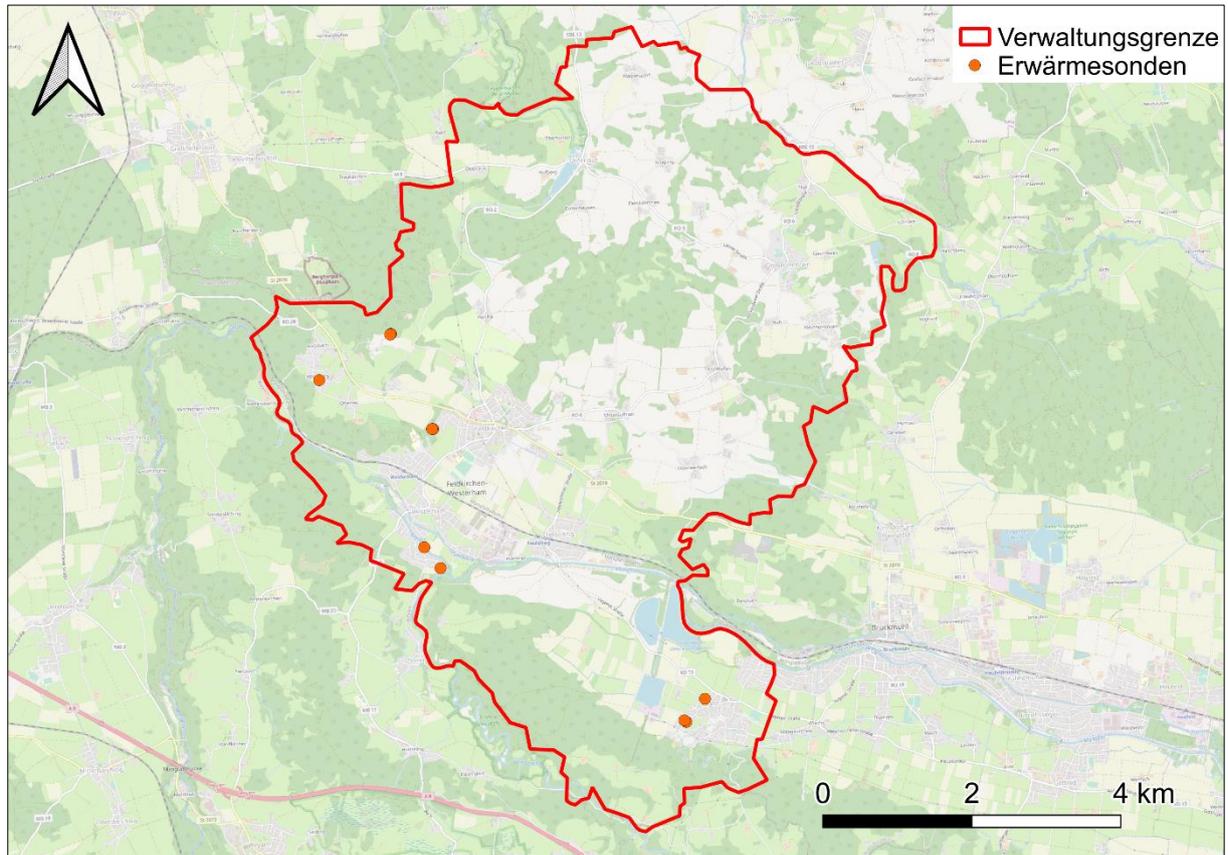


Abbildung 8: Übersicht der Erdwärmesonden in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de). Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

### 3.1.10 Gasnetze

Das Gasnetz der Gemeinde Feldkirchen-Westerham wird betrieben durch die Energienetze Bayern GmbH & Co. KG. Die Datenbasis beruht auf der Abrechnungsperiode 2021/2022, welche von Juli bis Juni des Folgejahres läuft.

Tabelle 6: Übersicht der Gasverbrauche in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham in der Abrechnungsperiode 2021 - 2022

2021/2022	Großverbraucher	Kleingewerbe	Haushalte	Summe
<b>Anzahl Entnahmestellen</b>	7	69	720	796
<b>Erdgasbezug</b>	116.786.573 kWh	7.038.405 kWh	20.415.379 kWh	144.240.357 kWh
<b>Prozentsatz</b>	80,97%	4,88%	14,15%	100%
<b>Verbrauch pro Entnahmestelle</b>	16.683.796 kWh	102.006 kWh	28.355 kWh	

Obwohl es in der Gemeinde nur 7 Großverbraucher gibt (0,9 % der Abnahmestellen), sind diese verantwortlich für 81 % des gemeindlichen Gasverbrauchs. Haushalte beziehen nur etwa ein Viertel des Gases im Vergleich zum Kleingewerbe.

Das Gasnetz in Feldkirchen-Westerham ist ca. 56 km lang. Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, wird nicht jeder Ortsteil versorgt. Etwa 10 km Hochdruckleitungsstrasse sind vorhanden (Dimension 200 mm, Druck größer 5 Bar). Es sind ca. 46 km Versorgungsleitungen in der Gemeinde verzeichnet (Dimension 110 mm, Druck bis 1 Bar). Die Daten wurden von der Energienetze Bayern GmbH & Co. KG als PDF-Pläne bereitgestellt. Geodaten konnten nicht übergeben werden. Die PDF-Pläne wurden georeferenziert und das Netz händisch nachgezeichnet. Somit sind die mitgelieferten Geodaten nicht metergenau und nicht zur Leitungsortung geeignet. Zudem fehlten die Pläne für die Bereiche zwischen Felddolling und Vagen sowie nördlich von Aschbach. Hier wurden die Trassenverläufe geschätzt.

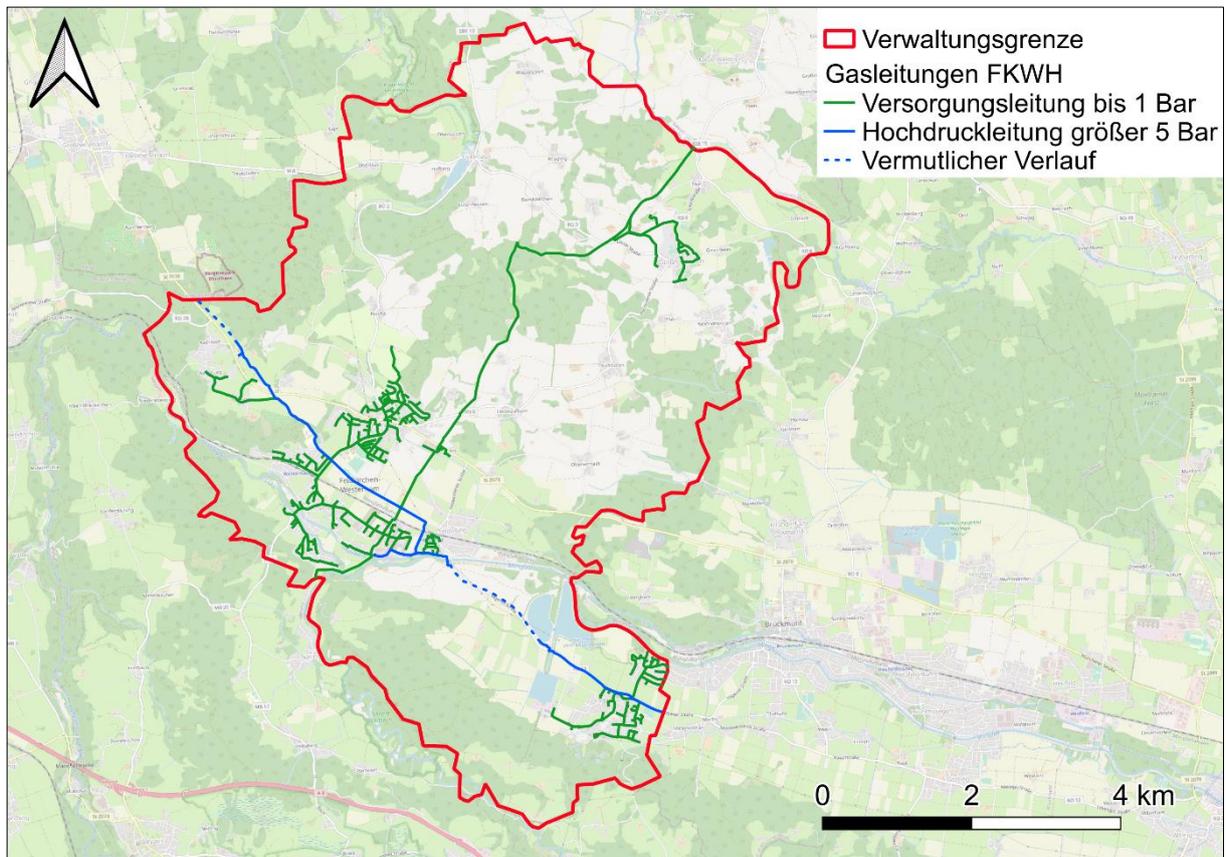


Abbildung 9: Übersicht des Netzbereichs der Energienetze Bayern. Datenquelle: Energienetze Bayern. Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

### 3.1.11 Stromnetze der Mittelspannungs- und Hochspannungsebene

Im Südosten der Gemeinde befindet sich der Ortsteil Vagen, der über einen eigenen Elektrizitäts- und Wasserversorgungsgenossenschaft, die EWG Vagen, verfügt. Die EWG Vagen eG versorgt etwa 530 Haushalte mit Strom über ihr Niederspannungsnetz. Im Jahr 2022 wurden insgesamt 2.309.492 kWh Strom verbraucht. Das Netz hat eine Länge von ca. 12 km. Die eingespeisten Strommengen aus erneuerbaren Energieanlagen (110 PV-Anlagen, 5 Wasserkraftwerke) betragen im Jahr 2022 1.291.539 kWh. Im Ortsteil Vagen werden 27 Wärmepumpen betrieben, die, zusammen mit den anderen erwähnten EEG-Anlagen im Jahr 2022 153.871 kWh verbraucht haben, davon 103.721 kWh im HT und 50.150 im NT.

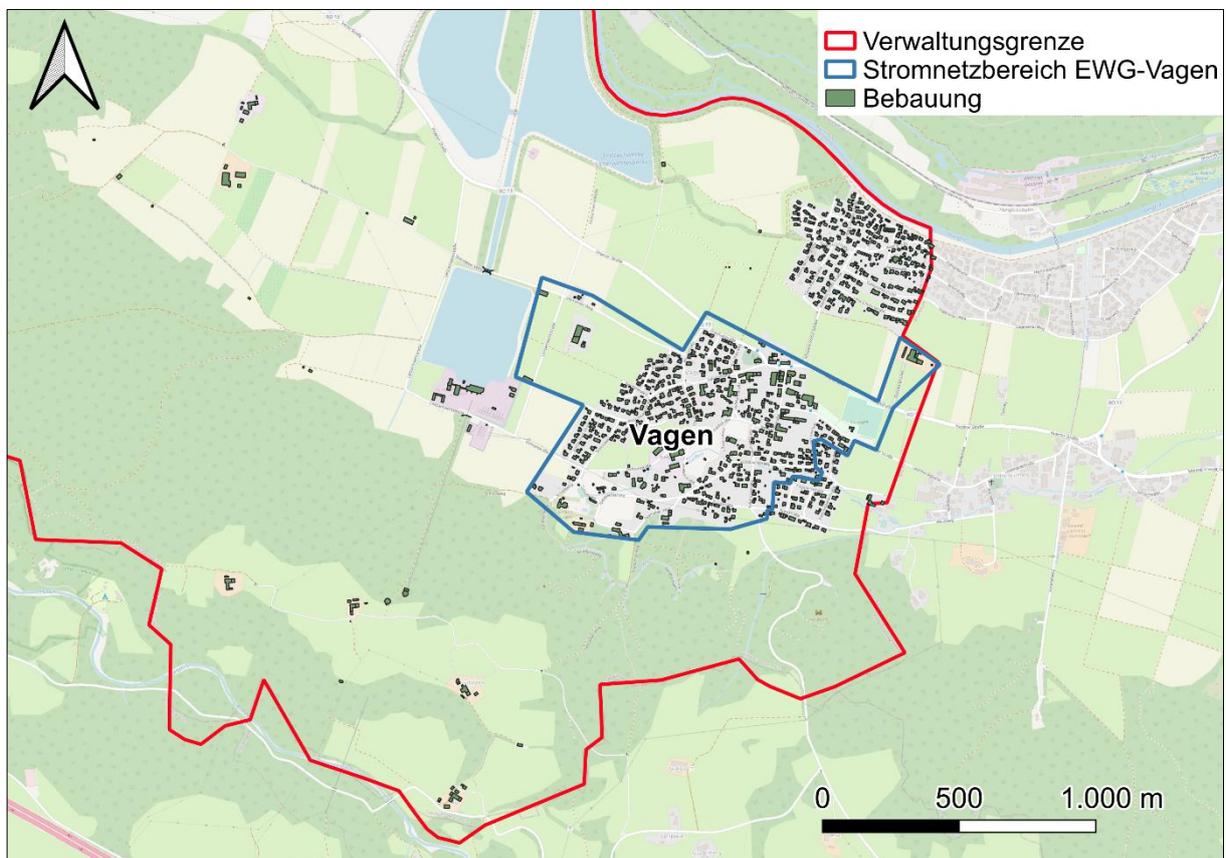


Abbildung 10: Übersicht des Netzbereichs der EWG-Vagen. Datenquelle: EWG-Vagen. Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

Die restlichen Flächen der Gemeinde Feldkirchen-Westerham werden von der Bayernwerk Netz GmbH mit Strom versorgt. Insgesamt wurden in diesem Bayernwerk Netz in der Gemeinde 83.443.093 kWh Strom verbraucht im Jahr 2021. Eingespeist wurden 44.384.356 kWh durch erneuerbare Energieanlagen im Jahr 2022. Das Bayernwerk Netz besteht aus etwa 84 km Mittelspannungs- und 111 km Niederspannungsnetz. Insgesamt gibt es etwa 79 km Hausanschlüsse und 58 km Kabel der Straßenbeleuchtung.

Tabelle 7: Abgerechnete Anlagen und Absatzmengen im Bayernwerk Stromnetz im Jahr 2021.  
 Quelle: Bayernwerk Netz GmbH

Kundengruppen nach aktuellem Lastprofil	Anlagen	Absatzmenge (kWh)
monatliche Letztverbraucher	39	61.493.283
<b>Summe monatliche Letztverbraucher</b>	<b>39</b>	<b>61.493.283</b>
<b>Straßenbeleuchtung (Verteiler)</b>	673 (7)	73.860
jährliche private Letztverbraucher	4.181	12.454.981
jährliche gewerbliche Letztverbraucher	809	5.175.073
Landwirtschaft	110	1.635.967
Speicherheizung	118	946.811
Wärmepumpen/ Direktheizung getrennte Messung	259	1.663.118
<b>Summe jährliche Letztverbraucher</b>	<b>5.484</b>	<b>21.949.810</b>
<b>Gesamt</b>	<b>5.523</b>	<b>83.443.093</b>

Tabelle 8: Einspeiser im Bayernwerk Netz im Jahr 2022. Quelle: Bayernwerk Netz GmbH

Energieträger	Anlagen	installierte Leistungen (kW)	Erzeugung (kWh)
KWK	7	53,90	197.614
Solar	816	13.652,75	12.710.729
Wasser	2	119,10	300.126
Biomasse	9	9.530,00	31.373.501
<b>EEG Gesamt</b>	<b>827</b>	<b>23.301,85</b>	<b>44.384.356</b>

Insgesamt wurden somit in den zwei Stromnetzen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham im Jahr 2021/2022 85.752.585 kWh Strom verbraucht. Abbildung 11 und Tabelle 9 zeigen den Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtstrombedarf in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham.

Tabelle 9: Deckung des Stromverbrauchs nach Erzeugung

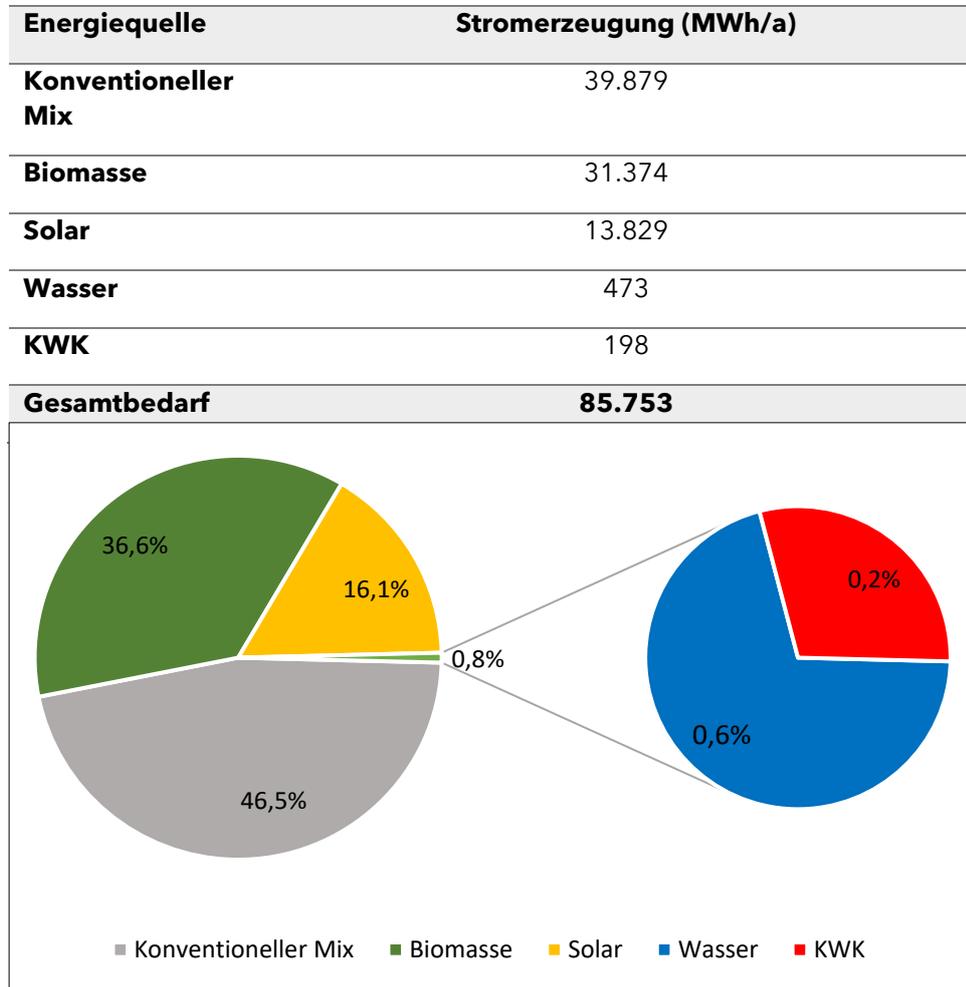


Abbildung 11: Deckung des Stromverbrauchs nach Erzeugung

### 3.1.12 Wärmenetze

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham befindet sich kein Fernwärmenetz. Es werden einige kleine, private Nahwärmenetze betrieben, deren Daten in der Tabelle 10 zusammengefasst werden.

Tabelle 10: Übersicht der Bestandswärmenetze in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham.

Adresse Heizzentrale	Netzeigentümer	Betreiber	Medium	Kesselleistung	Versorgte Gebäude
Ollinger Str. 15	Gemeinde	MW Biomasse	Hackschnitzel + Öl	220 kW	4
Salzstr. 11	Gemeinde + Klier	Gemeinde + Klier	Hackschnitzel + Gas	350 kW	12
Westerhamer Str. 9	Niedermayr	Niedermayr	?	?	2
Karl-Weigl-Platz 2	Gemeinde	MW Biomasse	Hackschnitzel + Gas	300 kW	7
Miesbacher Str. 17	Schulte	Schulte	Hackschnitzel Gas Solarthermie	220 kW 150 kW 42 kW	6
Unterlaus 9	Ostermaier	Ostermaier	Hackschnitzel + ?	?	3
Dorfstraße 38	Stacheter	Stacheter	?	?	8

Zudem laufen zurzeit Planungsarbeiten zu Wärmenetzen in der Gemeinde. In Großhöhenrain wird neben der Höhenrainer Delikatessen GmbH eine neue Heizzentrale entstehen. Es handelt sich hier um einen Biomassekessel (Hackschnitzel) mit einer vermutlichen Leistung zwischen 2,4 MW und 6 MW. Ein Großteil der Wohn-, Wirtschafts- und Kommunalgebäude sollen hier über einen Wärmenetz einen Anschluss erhalten.

Zudem wird vermutlich ein Heizkraftwerk mit angeschlossenem Wärmenetz im Ortsteil Ölbergring geplant, das mit lokalem Biogas betrieben werden soll. Weitere Details sind noch nicht bekannt. Ein ähnliches Konzept wird für ein potenzielles Heizkraftwerk mit lokalem Biogas bei Kleinhöhenrain verfolgt.

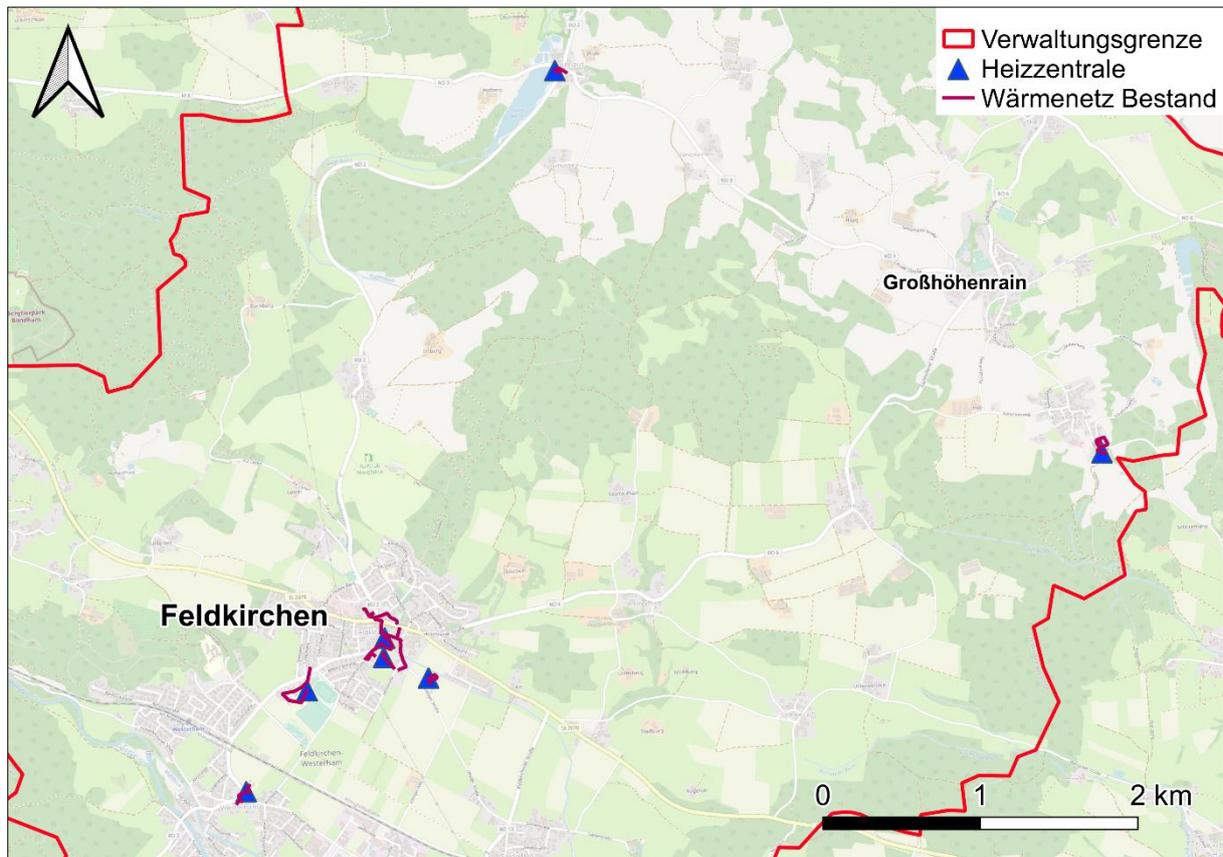


Abbildung 12: Übersicht der Wärmenetze in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

## 3.2 Wärme

### 3.2.1 Gebäudescharfes Wärmekataster

Das Wärmekataster wurde gemäß Kap. 3.3.4 des Leitfadens Energienutzungsplan mittels gebäudebezogener Wärmebedarfsermittlung erstellt. Es liegen in der Gemeinde keine Baujahrsdaten zu den Gebäuden vor. Für einige Ortsteile liegen im BayernAtlas jedoch Bebauungspläne vor. Die Erstellungsjahre der Urpläne wurden für diese Ortsteile als Baujahr angenommen. Zum Teil kann diese Methode ebenfalls zu Fehlerschätzungen führen aufgrund unterschiedlicher Baujahre und bereits bebauter Flächen zum Zeitpunkt der Erstellung der Bebauungspläne. Trotzdem führt diese Methode zu genaueren Ergebnissen des gebäudescharfen Wärmebedarfs. Gebäude ohne hinterlegten Bebauungsplan wurde ein mittlerer Wärmebedarfswert von  $150 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  sowie ein Brauchwarmwasserwert von  $18,75 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  zugewiesen.

Für die Ermittlung der Wohnfläche wurden aufgrund von fehlenden Daten die Menge an Stockwerke geschätzt. Es wurde hierfür angenommen, dass Gebäude mit einer Gesamthöhe bis 6 m ein

Stockwerk, zwischen 6 und 9 m zwei Stockwerke, zwischen 9 m und 12 m drei Stockwerke und bei mehr als 12 m vier Stockwerke enthalten. Die Gebäudefläche wurde mit der geschätzten Menge an Stockwerke multipliziert, um die Wohnfläche zu erhalten. Die Standardwerte des Leitfadens ergeben jedoch vor allem bei größeren Wohnflächen einen zu hohen Wärmeverbrauch. Erfahrungsgemäß werden bei größeren Wohnungen z.B. nicht alle Zimmer geheizt, was den Wärmebedarfswert reduziert. Anhand von Erfahrungswerten wurden somit folgende Grenzwerte eingefügt:

- Wohnfläche  $< 150 \text{ m}^2$  = 100% Wärmebedarfswert
- Wohnfläche  $150 \text{ m}^2 - 300 \text{ m}^2$  = 75 % Wärmebedarfswert
- Wohnfläche  $> 300 \text{ m}^2$  = 50% Wärmebedarfswert

Um die Mitbetrachtung von kleinen, nicht-beheizten Gebäuden wie Garagen und Gartenhäusern so weit wie möglich zu reduzieren wurden nur Gebäude mit einer Gebäudefläche von mindestens  $40 \text{ m}^2$  in die Berechnung miteinbezogen.

Eine Ermittlung gebäudescharfer Daten war anhand der Datenlage in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham, sowie im Rahmen des Auftrages nicht möglich. Lediglich für die Ortsteile Großhöhenrain und Ölbergring wurden gebäudescharfe Daten zugrunde gelegt mittels einer Umfrage aus 2022. Fehlende gebäudescharfe Daten in diesen Ortsteilen wurden ebenfalls mit Standardwerten aus dem Leitfaden Energienutzungsplan ergänzt.

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham befinden sich viele Landwirtschaftlichen Betriebe. Für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs der Ställe wurden Werte aus der Broschüre „Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft“ des Verbandes der Landwirtschaftskammern e. V.<sup>1</sup> hergezogen. Aus den Heizenergieverbrauchswerten pro Tier/a, sowie üblichen Verhältnissen von Tieren/ $\text{m}^2$  wurde einen Mittelwert von  $5 \text{ kWh/m}^2$  Stallfläche ermittelt. Pro Betriebszweig kann es hierbei jedoch zu erheblichen Unterschieden kommen.

---

<sup>1</sup> *Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft*. Verband der Landwirtschaftskammern e. V., 2009

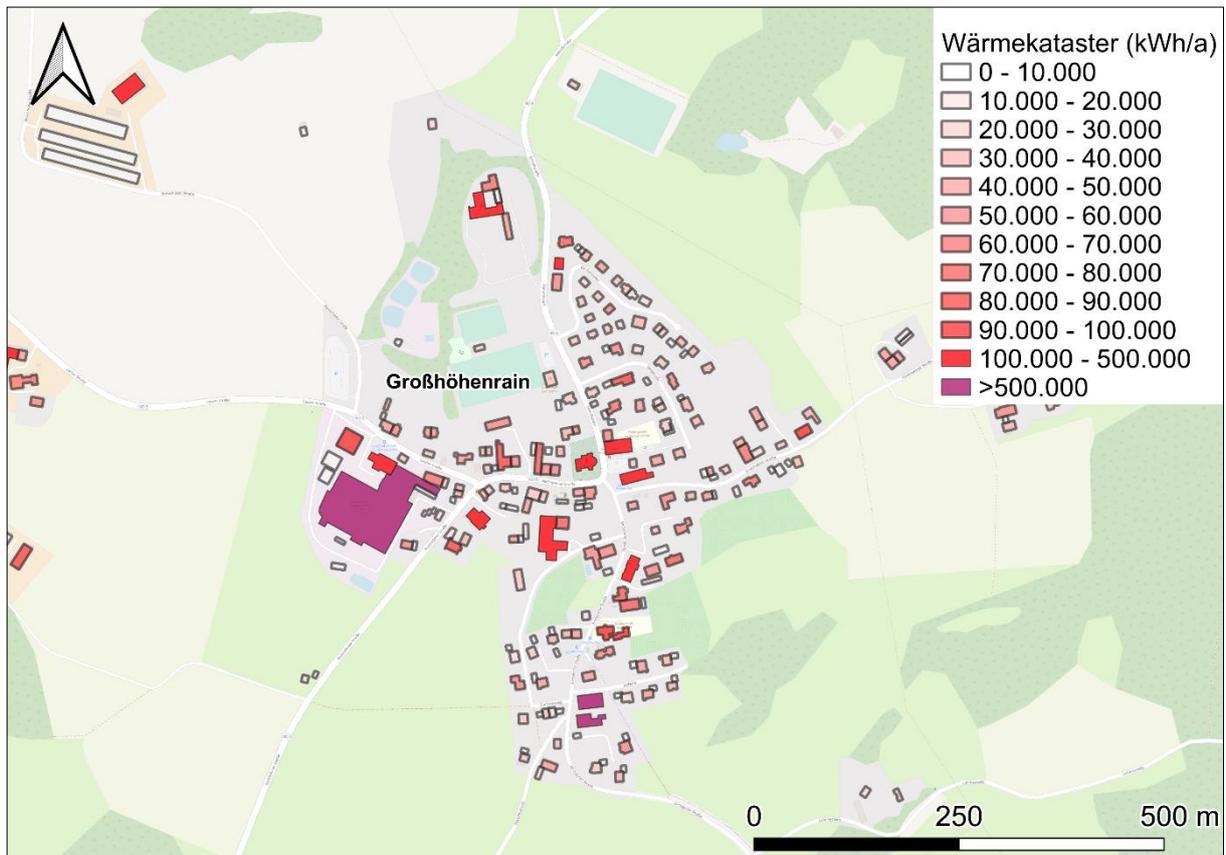


Abbildung 13: Darstellung des Wärmekatasters in Großhöhenrain. Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

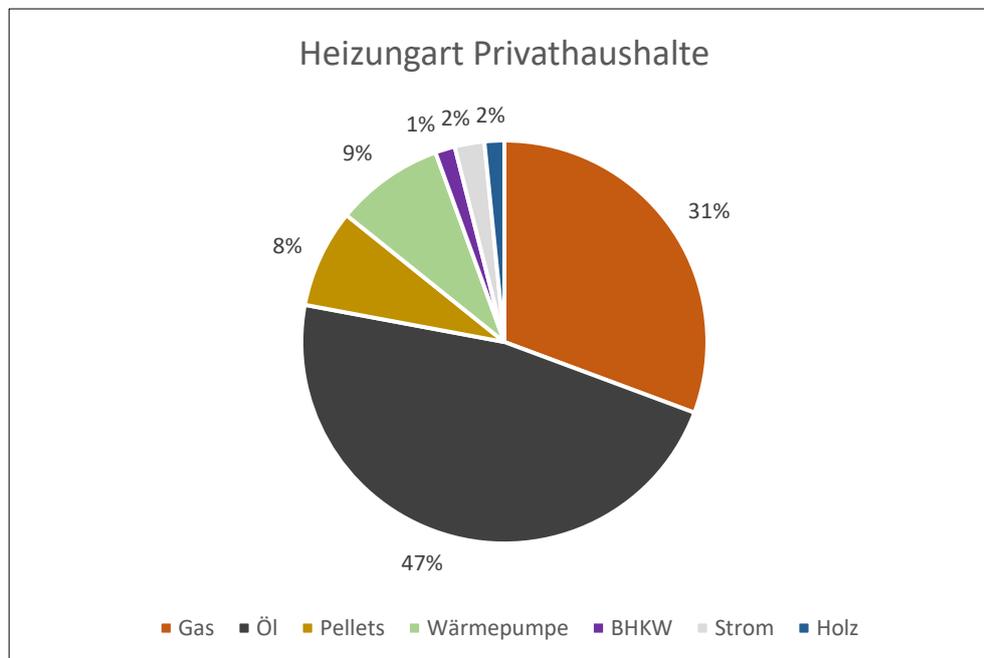
Insgesamt wurde gemäß Wärmekataster in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham im Jahr 2022 ca. 372.770 MWh Wärme pro Jahr verbraucht. Im Jahr 2011 wurden 370.190 MWh Wärme verbraucht. Der Verbrauch ist somit etwa gleichgeblieben. Aufgrund der Bevölkerungsentwicklung hat der Wärmeverbrauch pro Kopf geringfügig abgenommen.

### 3.2.2 Energiebilanz Wärme in Betrachtungsgebiet

#### Private Haushalte

Es konnten, trotz mehrmaliger Versuche bei sowohl den örtlichen Kaminkehrern als auch bei dem LfStat (Bayerisches Landesamt für Statistik), keine Kaminkehrerdaten bezogen werden. Eine gesetzliche Grundlage für die Herausgabe der Kaminkehrerdaten wurde während der Konzeptbearbeitung aufgesetzt, was dazu geführt hat, dass keiner der beiden Quellen die Daten herausgeben konnte. Die Heizungsdaten basieren auf 3 durchgeführten Umfragen in den Ortsteilen Großhöhenrain, Kleinhöhenrain und Ölbergring. Private Haushalte in Feldkirchen-Westerham verbrauchen pro Haushalt im Schnitt ca. 34 MWh pro Jahr an Wärme. Dieser Wert ist überdurchschnittlich hoch, lässt sich jedoch teilweise durch die große Menge an großen

Einfamilienhäusern erklären. Etwa die Hälfte aller Wohnungen verfügt noch über eine Ölheizung. Öl- und Gasheizanlagen sind zusammen für über 75% der Heizungsanlagen verantwortlich. Nachhaltige



Heizungsarten wie Wärmepumpen, BHKWs und Pellets sind nur bei etwas mehr als 10% der Privathaushalte vorhanden. Die vorhandenen Kessel stammen zu ca. 25 % aus dem 20. Jahrhundert.

Fast ein Drittel der Privathaushalte heizt zusätzlich mit Holz, zum Beispiel mit Kachelöfen, wodurch sich der tatsächliche Verbrauch schlecht einschätzen lässt. In der Gemeinde befinden sich gemäß Statistik Kommunal 2.920 Wohngebäude, wovon 2.602 aus Einfamilien- oder Doppelhäusern bestehen. Die restliche 318 Wohnungen befinden sich in Mehrfamilienhäusern. Dies ergibt gemäß Berechnungsgrundlage des Leitfadens Energienutzungsplan<sup>2</sup> ein Wärmebedarf von ca. 109.000 MWh pro Jahr. Gemäß dem erstellten Wärmekataster ergibt sich für private Haushalte ein Wärmebedarf von etwa 116.956 MWh pro Jahr. Aufgrund des hohen Anteils Holzheizungen, wird der Verbrauch gemäß Wärmekataster als realistischer eingeschätzt.

### Öffentliche Gebäude

Abbildung 14: Heizungsarten der privaten Haushalte in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham.

<sup>2</sup> Leitfaden Energienutzungsplan Teil I: Bestands- und Potenzialanalyse. StMUG, StMWIVT, OBB. Stand 09.08.2010.

Die Daten des kommunalen Wärmebedarfs entstammen dem Energiebericht 2022<sup>3</sup>. Der Sektor kommunale Liegenschaften ist mit 1 % die kleinste Wärmeverbrauchsgruppe.

Tabelle 11: Wärmebedarf der einzelnen kommunalen Liegenschaften

Gebäude	Wärmeträger	Wärmeverbrauch (MWh)	Anteil %
Bauhof Feldolling	Nahwärme (Klärgas)	77	2,7
Feuerwehr Feldolling	Holzpellets	29	1,0
Feuerwehrhaus Höhenrain	Strom	26	0,9
Feuerwehrhaus Vagen	Erdgas	77	2,7
Gemeindebücherei Feldk./Westerh.	Erdgas	67	2,4
Gemeindehaus u. Kindergarten Höhenrain	Heizöl	92	3,2
GS/HS/MS/Mensa Feldk./Westerh.	Nahwärme (Hackschnitzel, Erdgas)	869	30,5
Mangfallhalle	Nahwärme (Hackschnitzel, Erdgas)	112	3,9
Feuerw. Feldk./Westerh.	Nahwärme (Hackschnitzel, Erdgas)	147	5,2
Kultur- und Sportzentrum	Nahwärme (Hackschnitzel, Erdgas)	97	3,4
Grundschule Höhenrain	Heizöl	84	3,0
Grundschule und MZH Vagen	Erdgas	227	8,0
Kindergarten Bucklberg Feldk./Westerh.	Erdgas	105	3,7
Kindergarten Feldk./Westerh.	Heizöl / Holzpellets ab 08/21	84	3,0
Rathaus Feldk./Westerh.	Nahwärme (Hackschnitzel, Erdgas)	92	3,2
Kinderhaus Westerham	Nahwärme (Hackschnitzel)	76	2,7
Alte Post	Erdgas	36	1,3
Feuerwehr Unterlaus	Nahwärme	6	0,2
MFH Bachlände	Erdgas	48	1,7
MFH Lindenweg	Erdgas	51	1,8
Ollinger Str. 15	Nahwärme Biomasse	169	5,9
Ollinger Str. 15 a	Nahwärme Biomasse	67	2,4
Ollinger Str. 15 b	Nahwärme Biomasse	63	2,2
Klärwärter Wohnhaus (EBF)	Heizöl	35	1,2
Ludwig-Thoma-Str. 14 + 14a	Pellets	20	0,7
Ludwig-Thoma-Str. 14b	Pellets + Erdgas	89	3,1
<b>Summe</b>		<b>2845</b>	<b>100,0</b>

Die Grund-, Hoch- und Mittelschule zusammen mit der Mensa ist mit einem Anteil von über 30 % mit Abstand das kommunale Gebäude mit dem höchsten Wärmebedarf. Der dortige Verbrauch von 869

<sup>3</sup> Energiebericht 2022, Kommunales Energiemanagement Feldkirchen-Westerham. 17.05.2023, Gemeinde Feldkirchen Westerham, Nico Hirsemann. Stand: 12.05.2023

MWh/a entspricht etwa dem von 25 Privathaushalten. Weitere kommunale Großverbraucher sind die Grundschule und MZH-Vagen, sowie manche Feuerwehrhäuser. Maßnahmen hinsichtlich Dämmung und Effizienzsteigerung sollten in allen Liegenschaften gesucht werden, insbesondere in den Schulen und im Sportzentrum. Einige Gebäude wurden in den letzten Jahren bereits saniert, wie die Grundschule und MZH-Vagen und das Rathaus. Positiv anzumerken ist, dass über 40% der Gebäude über Nahwärmenetze auf Basis erneuerbarer Energieträger versorgt werden.

### Wirtschaft

In der Gemeinde sind 4.686 Gewerbe angemeldet. Dominiert wird die Gemeinde unter anderem durch die Unternehmen Höhenrainer Delikatessen GmbH, das Spinner Werk Westerham, W.L. Gore & Associates und die Neenah Gessner Papierfabrik. Eine Umfrage aller einzelnen Gewerbe der Gemeinde war in diesem Konzept nicht möglich. Aus den Gasverbrauchsdaten wird klar, dass die Wirtschaft einen Großteil des Wärmeverbrauchs darstellt. Etwa 86% wird durch Industrie und GHD (Gewerbe-Handel-Dienstleistungen) verbraucht. Innerhalb der Wirtschaftsbranche sind jedoch lediglich 7 Großverbraucher für 94% des Gasverbrauchs verantwortlich.

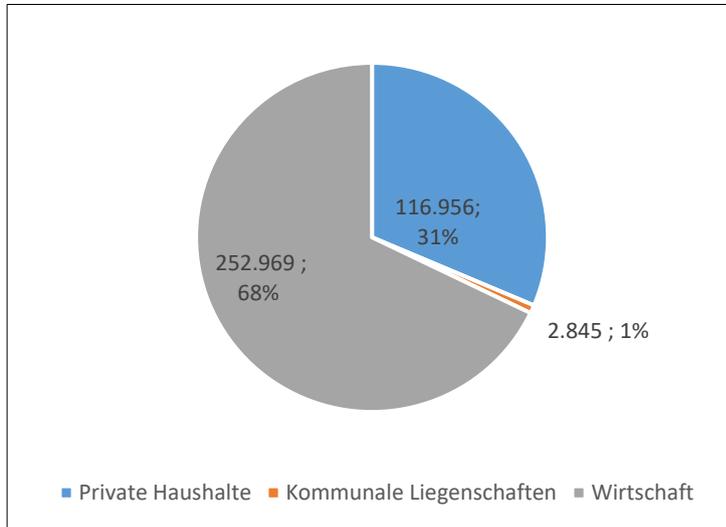
Vier der angefragten Industriefirmen gaben eine Rückmeldung auf der Anfrage zu Verbrauchsdaten. Diese werden in der Tabelle 12 zusammengefasst.

Table 12: Strom- und Wärmeverbrauche von 4 große Industriefirmen in Feldkirchen-Westerham.

<b>Firma</b>	<b>Spinner GmbH</b>	<b>W. L. Gore &amp; Associates GmbH</b>	<b>Höhenrainer Delikatessen GmbH</b>	<b>Neenah Gessner GmbH</b>
<b>Stromverbrauch (kWh)</b>	3.035.052	955.325	3.500.000	45.200.000
<b>Wärmeverbrauch (kWh)</b>	1.809.868	1.515.084	4.700.000	180.000.000
<b>Heizwärme (%)</b>	93,4	100	25	/
<b>Prozesswärme (%)</b>	6,6	0	75	/
<b>Heizungsart</b>	Erdgas & Öl	Erdgas	Gas & Pellets	Erdgas & Methanol

Insgesamt wird durch die Wirtschaft in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham ca. 252.969 MWh Wärme pro Jahr verbraucht.

Abbildung 15: Anteile am Gesamtwärmeverbrauch



## 4. Potenzialanalyse Energieeinsparung

### 4.1 Wärme

#### 4.1.1 Private Haushalte

An erster Stelle hat das Nutzerverhalten einen hohen Einfluss auf den Wärmeverbrauch. Dies kann die Gemeinde nur teilweise, z.B. durch Informationen an Privatpersonen hinsichtlich Verhalten, beeinflussen. Neben der Optimierung des Nutzerverhaltens kann vor allem durch Gebäudedämmung Energie eingespart werden. Vor allem in älteren Gebäuden steckt erhebliches Potenzial zur energetischen Gebäudesanierung. In diesem Energiekonzept werden die Ursachen und Folgen einer schlechten Gebäudedämmung im Folgenden erläutert und mögliche Sanierungsansätze aufgezeigt. Grundsätzlich ist dabei zu berücksichtigen, dass diese Angaben immer exemplarisch gelten und lediglich Mittelwerte und Spannbreiten darstellen. Im Neubaubereich konnte der Heizenergiebedarf in den vergangenen Jahren mit Hilfe von neuen und verbesserten Baumaterialien sowie einer verbesserten Bautechnik deutlich gesenkt werden. Zahlreiche Möglichkeiten aus dem Neubaubereich lassen sich mittlerweile auch bei Sanierungsmaßnahmen umsetzen.

Für den Heizenergiebedarf eines Gebäudes ist die Qualität der Gebäudehülle ausschlaggebend. Abbildung 16 veranschaulicht die ungefähren Verluste durch die einzelnen Bauteile.

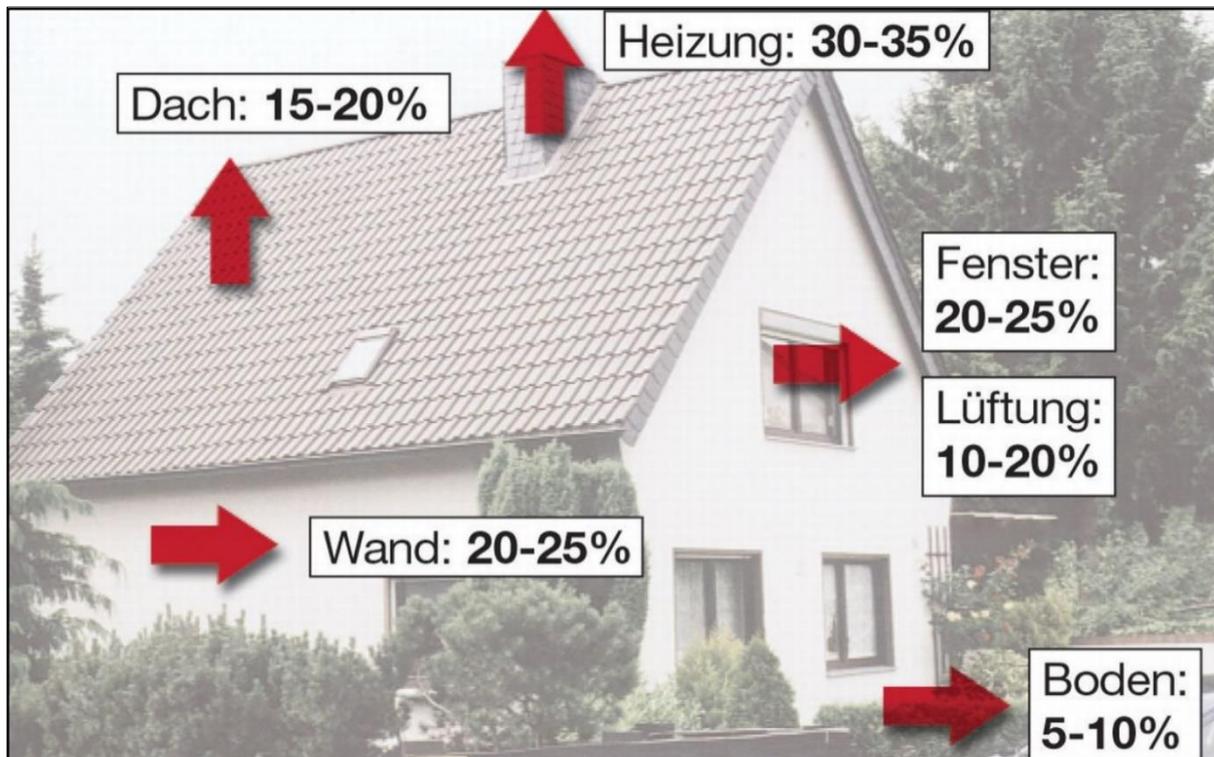


Abbildung 16: Wärmeverluste eines freistehenden Einfamilienhauses (Baujahr 1984).

Es können verschiedene Maßnahmen zur Gebäudesanierung durchgeführt werden, um die Effizienz eines Hauses zu steigern. Hierzu zählen: Fassadendämmung, Dachdämmung, Dämmung der Geschosdecke und Bodenfläche, Fenster- und Türenaustausch, Optimierung der Lüftung (Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) und das Modernisieren der Heizungsanlage. Fast alle Maßnahmen zur Effizienzerhöhung von Gebäuden werden zurzeit über die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) gefördert. Durch Umsetzung dieser Sanierungsmaßnahmen können die Werte in der Abbildung 16 erheblich reduziert werden.

Es wird in diesem Konzept davon ausgegangen, dass durch Umsetzung eines Teils der beschriebenen Sanierungsmaßnahmen sowie durch verändertes Nutzerverhalten insgesamt ca. 30 % an Heizenergie bis zum Jahr 2030 eingespart werden kann. Diese Zahl entspricht zudem etwa die EU-Energieeffizienzziele von mindestens 32,5 % bis 2030<sup>4</sup>. Somit könnte in 2030 ca. 35.087 MWh/a weniger Wärme verbraucht werden. Das technische Potenzial wäre erheblich höher. Aufgrund von fehlenden Daten zur aktuellen Sanierungslage kann das genaue Potential jedoch nicht ermittelt werden.

<sup>4</sup> Richtlinie (EU) 2018/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates. 11.12.2018. Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union

### 4.1.2 Öffentliche Gebäude

Die öffentlichen Gebäude lassen sich grob mit den privaten Haushalten vergleichen. Auch hier sind Änderungen des Nutzerverhaltens sowie Gebäudesanierungen von höchster Relevanz. Durch Umsetzung eines Teils der beschriebenen Sanierungsmaßnahmen sowie durch verändertes Nutzerverhalten kann auch hier eine große Menge an Heizenergie eingespart werden.

Die Grundschule und MZH Vagen sowie das Rathaus wurden in den vergangenen Jahren bereits zum Teil saniert. Im Energiebericht 2022 werden außerdem geplante Maßnahmen an öffentlichen Gebäuden erläutert. Eine energetische Sanierung der Kläranlage, sowie Vorgehensweisen zu Neubau- und Sanierungsmaßnahmen wurden festgelegt. Die aktuelle Ölheizung in der Kläranlage (Verbrauch ca. 12.000 - 15.000 l pro Jahr) wird voraussichtlich im Jahr 2024 durch eine Klärgasheizung mit Rekuperator ersetzt. Zudem werden die ineffizienten Pumpen ebenfalls im Jahr 2024 getauscht.

Viele der öffentlichen Gebäude können durch eine Gebäudesanierung in ihrer Effizienz deutlich gesteigert werden. Dies gilt vor allem für die noch unsanierte, oder länger nicht sanierte, Altbebauung wie die Alte Post in Feldkirchen.

Viele der Heizungsanlagen in den öffentlichen Gebäuden wurden bereits auf erneuerbare Energien umgestellt. Aufgrund des bereits relativ hohen Anteils an Neubau- und Sanierungsmaßnahmen, sowie Umstellungen auf alternative Heizungsarten, wird das Einsparungspotenzial etwas konservativer als bei den privaten Haushalten auf ca. 20 % bis zum Jahr 2030 eingeschätzt. Somit könnte bei gleichbleibender Nutzungsintensität im Jahr 2030 ca. 569 MWh/a weniger Wärme verbraucht werden. Auch bei den öffentlichen Gebäuden liegt das technische Potenzial erheblich höher.

### 4.1.3 Wirtschaft

Die Wirtschaftsbranche ist extrem divers, und lässt sich aufgrund der vielen verschiedenen Gewerbe nur schwierig pauschal beurteilen. Es wird hier einen Unterschied gemacht zwischen GHD und Industrie. Die GHD-Branche lässt sich grob mit den privaten Haushalten vergleichen. Auch hier sind Änderungen des Nutzerverhaltens sowie Gebäudesanierungen von höchster Relevanz. Auch in der GHD kann durch Umsetzung eines Teils der beschriebenen Sanierungsmaßnahmen sowie durch verändertes Nutzerverhalten insgesamt ca. 30 % an Heizenergie bis zum Jahr 2030 eingespart werden. Wenn die Annahme getroffen wird, dass ca. 75% des Wärmeverbrauchs in der Wirtschaft durch die Industrie anfällt, kann im Jahr 2030 etwa 13.200 MWh/a Wärme in der Branche GHD eingespart werden. Diese Zahl entspricht zudem etwa die EU-Energieeffizienzziele von mindestens 32,5 % bis 2030.

Alternativ kann eine jährliche pauschale Minderung des Wärmebedarfs in Anlehnung an die EU-Effizienzrichtlinie (Energy Efficiency Directive, 1,5% Energieeinsparung pro Jahr) angenommen werden. Bei einer jährlichen Wärmebedarfseinsparung von 1,5% bis 2040 können somit in der Wirtschaftsbranche (GHD + Industrie) ca. 40.000 MWh eingespart werden.

Für die Industrie in Feldkirchen-Westerham kann aufgrund der hohen Diversität und Komplexität keine Einschätzung des Einsparpotentials gemacht werden. Einige der Industriefirmen gaben jedoch an, bereits mehrere Maßnahmen umzusetzen, um den Verbrauch zu reduzieren, wie z.B. kontinuierliches Motorenaustauschprogramm, LED-Umstellung, Wärmerückgewinnungen, PV-Anlage auf dem Dach, Elektro- und Hybridfahrzeuge im Fuhrpark des Unternehmens, neue Isolierung von Kühlräumen etc.

Die Einsparpotenziale werden in Tabelle 13 veranschaulicht.

Tabelle 13: Einsparpotenziale für private Haushalte, öffentliche Gebäude und Wirtschaft bis zum Jahr 2030

Jahr	Wohnbau	Öffentliche Gebäude	Wirtschaft
2022	116.956 MWh/a	2.845 MWh/a	44.039 MWh/a
2030	81.869 MWh/a	2.276 MWh/a	30.827 MWh/a

Insgesamt wird deutlich, dass sich sowohl durch Sanierung der Gebäude als auch durch angepasstes Nutzerverhalten deutliche Einsparpotenziale im Bereich Wärme realisieren lassen. Diesen Einsparungen stehen jedoch in erster Linie finanzielle Aufwendungen entgegen, welche für die Sanierungsmaßnahmen zu investieren sind. Durch die hohe Bedeutung der Wärme am Gesamtenergieverbrauch sollte künftig ein Fokus auf der Hebung dieser Potenziale liegen. Dies ist in erster Linie durch verstärkte Informationspolitik, Öffentlichkeitsarbeit, finanzielle Förderungen und klare Vorgaben und Zielsetzungen erreichbar. Mehr Informationen zu Gebäudesanierung sind in Kapitel 6 (Maßnahmenkatalog) auffindbar.

Eine potentielle Lösung für die Verbesserung des schwer beeinflussbaren Nutzerverhaltens liegt in der Nutzung von Smart Thermostaten und künstlicher Intelligenz. Heutzutage gibt es mehrere Hersteller von digitalen Optimierungsplattformen für Heizungsanlagen. Diese Lösung wird in Kapitel 6 (Maßnahmenkatalog) weiter behandelt.

Aufgrund der fehlenden Baujahrdaten und Sanierungsstände in der Gemeinde ist die Erstellung eines Gebäudescharfen Sanierungskatasters für den gesamten Gebäudebestand nicht sinnvoll möglich. Diese Entscheidung wurde in Abstimmung mit der Gemeinde getroffen.

## 5. Potenzialanalyse Energieerzeugung

In diesem Kapitel werden theoretische Potenziale ermittelt. In der Realität kommen oft noch verschiedenste Faktoren dazu, wie z.B. Politik, Schwierigkeiten mit Grundstückseigentümer usw., die das wirkliche Potenzial im Vergleich zum theoretischen Potenzial noch mal reduzieren. In diesem Konzept können solche Faktoren nicht berücksichtigt werden.

## 5.1 Abwärme

Die kommunale Kläranlage von Feldkirchen-Westerham liefert aufgrund der zu langen Leitungswege und zu geringen Nachtdurchfluss kein Potenzial für Abwärme-Wärmepumpen.

In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham gibt es gemäß Energie-Atlas Bayern zudem noch 5 potenzielle Abwärmequellen, die eine Gesamt Abwärmemenge von 19,4 GWh aufzeigen. Gespräche mit einer der Abwärmequellen, die Westerhamer Veredlungsgesellschaft Preisler GmbH & Co. KG, zeigen jedoch, dass zurzeit kein Abwärmepotenzial vorhanden ist.

Tabelle 14: Abwärmepotenzial in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

Name	Abwärmemenge gesamt (GWh)	Wärmeträger	Anzahl der Anlagen	Temperaturbereich (°C)	Betriebsdauer (h/a)
"Bioenergie Moser GmbH & Co. KG, Flurnr. 1828 Reitbahn"	7,5	gasförmig	3	222.0 - 482.0	8.750
"Bioenergie Moser GmbH & Co. KG, Flurnr. 2109 Putenstall"	2,8	gasförmig	2	232.0 - 542.0	1.650 - 6.500
Glockner Bioenergie GbR	1,8	gasförmig	2	274.0 - 348.0	2.000 - 8.500
Neenah Gessner GmbH	5,6	gasförmig	5	84	7.700 - 8.000

Im Industriegebiet Weidach (Westerham) wurden bereits erste Planungsschritte gesetzt, um das Abwärmepotenzial der Neenah Gessner GmbH sinnvoll zu nutzen. Hierfür wurden bereits Ausbauabschnitte definiert, die unter anderem die Firmen Spinner GmbH und W. L. Gore & Associates, Inc., sowie auch Wohngebiete als Abnehmer identifiziert haben. Weitere Planungsschritte stehen noch aus. Bei einer Nachfrage zu detaillierten Angaben der Abwärmemengen wurden folgenden Schätzungen übermittelt:

- Abluft Papiermaschinen, 5-10 MW, Temperaturen 90 bis 140 °C
- Abluft Veredelungsanlagen, ca 2-5 MW, (bereits in Verhandlungen mit der Gemeinde bzgl. einer Nutzung)
- Abwasser 20 bis 30 °C bei ca 1200-1500 m<sup>3</sup>/d

## 5.2 PV / Solarthermie

Die Sonnenenergie ist eine im menschlichen Maße unerschöpfliche Energiequelle. Pro Jahr treffen auf das Gemeindegebiet von Feldkirchen-Westerham ca. 1.165 kWh/m<sup>2</sup>, oder ca. 61.823.000 MWh an solarer Strahlung. Das entspricht dem 162-fachen des gesamten Energiebedarfs Feldkirchen Westerhams. Der allergrößte Teil dieser Energie ist jedoch nicht nutzbar, da die Strahlung auch auf Waldflächen, landwirtschaftliche Flächen, Straßen oder Wasseroberflächen trifft. Zudem ist die Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärme oder elektrische Energie immer mit Verlusten verbunden. Eine handelsübliche Photovoltaikanlage erreicht heutzutage, je nach Modultyp, einen

Systemwirkungsgrad von etwa 16 - 18 %<sup>5</sup>. Thermische Solarkollektoren hingegen wandeln heutzutage etwa die Hälfte der Strahlungsenergie in Wärme um (ca. 500 kWh/m<sup>2</sup>). Zusätzlich fallen jedoch noch Systemverluste in geringem Ausmaß an. Daneben hängt das Potenzial noch von den verfügbaren und brauchbaren Flächen zur Installation von PV- oder solarthermischen Kollektoren ab. Generell muss bei dieser Energieform berücksichtigt werden, dass die Auswertungen und Analysen rein bilanzieller Natur sind. Das geläufige Problem, dass Solarenergie nicht zwingend dann anfällt, wenn der Energiebedarf gerade vorhanden ist, kann im Zuge einer solchen Studie nicht berücksichtigt werden. Ansätze zur Abmilderung dieses Dilemmas, wie Stromspeicher, Langzeitwärmespeicher etc. befinden sich zum Teil bereits auf dem Markt und sind Gegenstand der aktuellen Forschung. Im Folgenden werden nun die Potenziale für Solarthermie und Photovoltaik analysiert und den jeweiligen Wärme- und Stromverbräuchen gegenübergestellt. Die dabei verwendeten unterschiedlichen Erhebungs- und Bilanzierungsansätze werden zuletzt übersichtlich zusammengefasst und gegenübergestellt.

### **Solarthermie**

Zur Berechnung des Solarthermiepotenzials wurden alle Dachflächen mit südlicher Exposition betrachtet. Davon wurden pauschal 50% aufgrund von Verschattung, Denkmalschutz und anderen Ausschlussmöglichkeiten abgezogen. Ost- und Westdachflächen wurden nicht berücksichtigt, da der Ertrag von Solarthermieanlagen hier erheblich abnimmt. Die bereits erzeugte Wärme bestehender solarthermischer Anlagen (vgl. Kapitel 3.1.8) wurde vom Zubaupotenzial ebenfalls abgezogen. Im gesamten Gemeindegebiet könnten durch das nicht erschöpfte Solarthermiepotenzial auf Süddächern (ca. 111.951 m<sup>2</sup>) jährlich ca. 44.780 MWh an Wärme gewonnen werden. Das entspricht 15,1 % des gesamten Wärmebedarfs. Allerdings fällt der größte Teil des Wärmebedarfs im Winter an, wenn die Solarthermieanlagen aufgrund von Schneebedeckung und niedrigem Sonnenstand die wenigste Wärme erzeugen. Außerdem werden Solarthermieanlagen bislang vorwiegend zur Warmwassererzeugung eingesetzt (ca. 15 % des Wärmebedarfs sind auf die Bereitstellung von Warmwasser zurückzuführen). Der gesamte Warmwasserbedarf in Feldkirchen-Westerham kann somit theoretisch durch Solarthermie abgedeckt werden. Um das restliche Potenzial zu nutzen, muss die solarthermische Anlage auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden, was einen deutlich höheren technischen Aufwand vor allem bei der Dimensionierung des Pufferspeichers und damit hohe finanzielle Aufwendungen nach sich zieht. Die größte Herausforderung liegt also bei der technischen Umsetzung zur Lösung des Dilemmas der antizyklischen Phasen von Wärmebereitstellung (Sommer) und Wärmebedarf (Winter).

---

<sup>5</sup> *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. 17.05.2023. Fraunhofer ISE, Dr. Harry Wirth

## **PV-Anlagen**

Über den Energie-Atlas Bayern wurde die Gesamtleistung aller bestehenden PV-Anlagen (Stand: Anfang 2023) in der Gemeinde ermittelt. Insgesamt befinden sich 958 Anlagen in der Gemeinde mit einer Gesamtleistung von 15.692,46 kWp. Zur Ermittlung der bereits mit PV-Anlagen belegten Dachflächen wird eine Annahme von 0,2 kWp/m<sup>2</sup> genommen. Eine Berechnung der Gesamtdachfläche in der Gemeinde liefert 1.127.862 m<sup>2</sup> Dachfläche. Hiervon wird pauschal 50 %

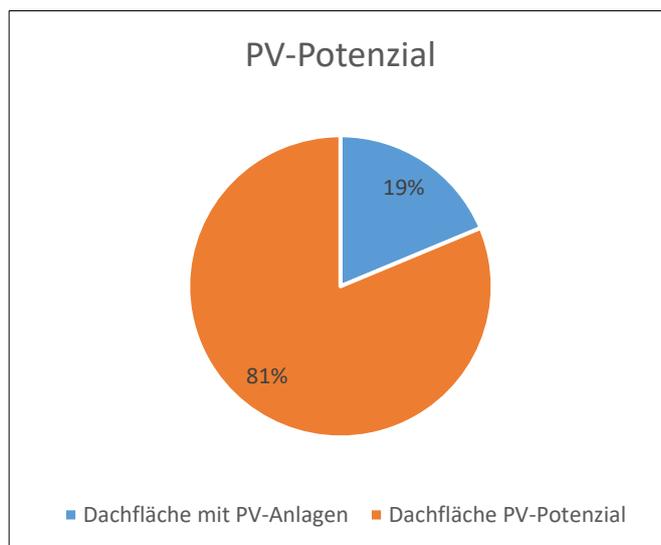


Abbildung 17: Prozentsatz der Dachflächen, die bereits von PV-Anlagen versehen wurden, und der Dachflächen auf die noch PV-Anlagen ausgebaut werden können.

aufgrund von Verschattung, Denkmalschutz und anderen Ausschlussmöglichkeiten abgezogen. Auch die bereits mit PV-Anlagen sowie Solarthermieanlagen belegten Dachflächen werden zur Ermittlung des Potenzials abgezogen. Für die PV-Anlagen werden die Ost-, Süd-, und Westdachflächen berücksichtigt. Von der 1.127.862 m<sup>2</sup> Dachfläche verbleibt somit noch 341.608 m<sup>2</sup> Dachfläche, die für PV-Anlagen benutzt werden kann. Dies ergibt ein Potenzial von etwa 34.161 MWh/a. Gebäudescharfe Solarpotenziale können im Solarkataster Rosenheim berechnet und eingesehen werden ([www.solarkataster-rosenheim.de](http://www.solarkataster-rosenheim.de)).

Tabelle 15 zeigt die Potenziale, wenn ausschließlich PV-Anlagen oder eine Mischung von PV- und Solarthermieanlagen installiert werden.

Tabelle 15: Ausbaupotenziale von Solarthermie und PV-Dachanlagen in der Gemeinde Feldkirchen/Westerham

Potenziale	Fläche (m <sup>2</sup> )	Erzeugungspotenzial (MWh/a)	Anteil vom Gesamtverbrauch
Solarthermie Potenzial	111.951	44.780	12,0 %
PV Ost-West-Dachpotenzial	229.657	22.966	26,8 %
PV Ost-Süd-West-Dachpotenzial (keine Solarthermie-Ausbau)	341.608	34.161	39,8 %

### 5.3 PV-Freifläche

PV-Freiflächenanlagen (FFPV) unterliegen einer Vielzahl an Regelungen und Einschränkungen die unter anderem in den Hinweisen des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr<sup>6</sup> aufgelistet werden. Sofern Förderungen nach EEG in Anspruch genommen werden sollen, sind auch diese Regelungen einzuhalten. FFPV mit mehr als 1.000 kWp und bis zu 100 MWp (in 2023) Leistung sind im Sinne des EEG an Ausschreibungen der Bundesnetzagentur gebunden<sup>7</sup>.

FFPV dürfen nicht auf Flächen von geschützten Biotopen, Wasserschutzgebiete, Überschwemmungsgebiete oder sonstige Naturschutzgebiete gebaut werden. Die Auflistung der geeigneten und nicht geeigneten Standorte lässt sich in den Hinweisen des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr einsehen. Geeignete Standorte sind unter anderem Konversionsflächen, Altlasten(verdachts)flächen sowie Trassen entlang Autobahnen und Schienentrassen. Die geeigneten Standorte definieren sich nach den Hinweisen des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr vor allem aus den nicht-geeigneten Flächen.

Damit eine FFPV förderfähig im Sinne des EEG ist, sind zusätzlich die aufgelisteten Einschränkungen im EEG 2023 § 37 zu beachten. Zum Beispiel können im EEG landwirtschaftlich benachteiligten Flächen für FFPV genutzt werden. Diese Flächenkulisse stammt aus der Agrarförderung, die zum 01.01.2019 geändert wurden. Die benachteiligten Gebiete nach EEG umfassen jedoch die Flächenkulisse aus sowohl der neuen und alten Regelung. Die gesamte Gemeinde Feldkirchen-Westerham wird somit im Energie-Atlas Bayern als benachteiligtes Gebiet nach EEG definiert.

Unter Berücksichtigung dieser Vorgaben sowie von Verschattungseffekten können somit die in Abbildung 18 dargestellten Flächen als potenzielle FFPV-Standorte ausgewiesen werden. Zusätzlich wurden Waldflächen sowie Siedlungsflächen (Puffer 50 m) nicht berücksichtigt.

Das FFPV-Potenzial in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham beträgt nach diesen Kriterien etwa 17.462.400 m<sup>2</sup>. Im Jahr trifft auf diesen Flächen gemäß EnergieAtlas Bayern ca. 20.344 GWh an solarer Strahlung.

---

<sup>6</sup> Bau- und landesplanerische Behandlung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen. Hinweise des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr. In Abstimmung mit den Bayerischen Staatsministerien für Wissenschaft und Kunst, für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, für Umwelt und Verbraucherschutz sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Stand 10.12.2021

<sup>7</sup> Leitfaden Freiflächen-Photovoltaikanlagen. C.A.R.M.E.N. e.V. Stand: März 2023

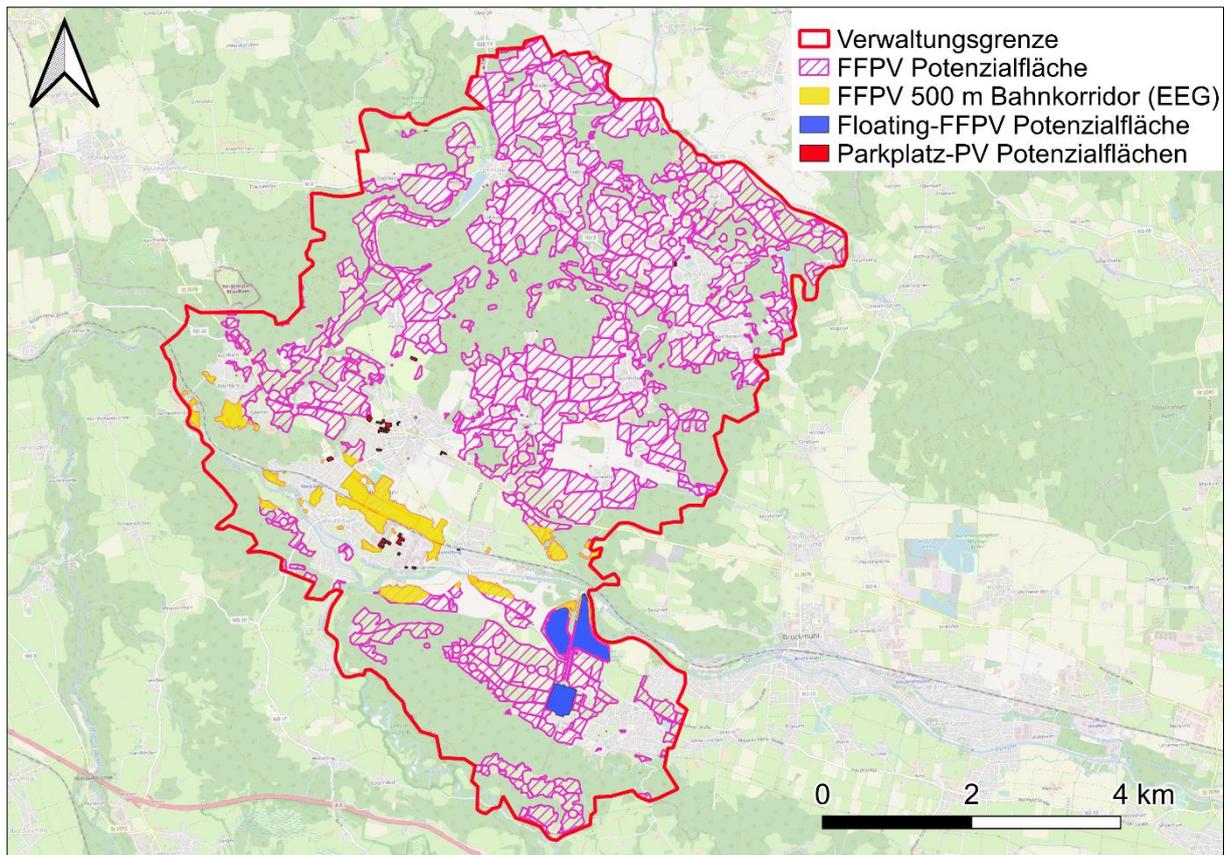


Abbildung 18: Übersicht der Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

Es wird pro kWp etwa 10 m<sup>2</sup> Fläche benötigt<sup>8</sup>. Somit ergibt sich bei 17.462.400 m<sup>2</sup> ein Gesamtpotenzial von 1.746.240 kWp, oder bei 1.000 Volllaststunden<sup>9</sup> ca. 1.746.240 MWh pro Jahr.

Das Gemeindegebiet wurde anhand eines digitalen Geländemodells (DGM) auf Verschattungseffekte untersucht. Der Großteil der Flächen befindet sich auf flachen oder südseitigen Flächen. In den Kupferbach- und Tiefenbachtäler liegen die größte Verschattungseffekte vor. Eine detaillierte Betrachtung sorgt i.d.R. für weitere Ausschlussflächen. 20% der Flächen wird aufgrund von Verschattungseffekte und anderen Ausschlussfaktoren als ungeeignet betrachtet. Dies ergibt ein Potenzial von etwa 1.396.992 MWh pro Jahr.

Die drei Staubecken des Leitzachwerks sind künstliche oder stark veränderte Gewässer, auf dem eine Floating-FFPV möglich ist. Dies liefert zusätzlich bis zu 468.171 m<sup>2</sup> Fläche für FFPV, und somit ein extra Potenzial von ca. 46.817 MWh/a. Da die Staubecken jedoch Eigentum der Stadtwerke München sind, kann dieses Potenzial nicht der Gemeinde Feldkirchen-Westerham angerechnet werden.

<sup>8</sup> Leitfaden Freiflächen-Photovoltaikanlagen. C.A.R.M.E.N. e.V. Stand: März 2023

<sup>9</sup> Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. 17.05.2023, Fraunhofer ISE

Zusätzlich können PV-Anlagen auf vorhandenen Parkplätzen, zum Beispiel an Supermärkten, errichtet werden. Eine Analyse vorhandener Parkplätze liefert eine Potenzialfläche von ca. 50 ha und somit ein extra Potenzial von ca. 5.000 MWh/a.

Somit ergibt sich in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham ein Gesamtpotenzial (FFPV und Dachanlagen) von ca. 1.436.153 MWh/a.

Table 16: Übersicht der PV-Erzeugungspotenziale in der Gemeinde

Potenzialflächen	Erzeugungspotenzial
Dachanlagen	34.161 MWh/a
FFPV	1.396.992 MWh/a
Parkplätze	5.000 MWh/a
<b>Summe</b>	<b>1.436.153 MWh/a</b>

Auf Wunsch der Gemeinde werden in diesem Kapitel zusätzlich besonders geeignete Flächen für Freiflächen-Solarthermieanlagen identifiziert. Diese Flächen erhalten eine ungestörte südliche Sonneneinstrahlung und befinden sich aufgrund von Wärmeverlusten bei längeren Transportwegen nah an Siedlungen. Die maximale Entfernung zwischen Kollektorfleichen und dem Punkt der Wärmenetzeinspeisung beträgt gemäß „Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung“ maximal 1.000 m<sup>10</sup>. Besonders geeignet ist hierfür die Fläche zwischen Klein- und Großhöhenrain. Sie ist nicht verschattet und gut an beide Ortsteile angebunden. Zudem sind die EEG-Flächen zwischen Feldkirchen und Westerham aus gleichen Gründen besonders gut geeignet. Freiflächen-Solarthermieanlagen eignen sich gut als zusätzliche Unterstützung der lokalen Fern- und Nahwärmeversorgung, vor allem in Verbindung mit Wärmespeicher, aber können i.d.R. nicht als alleinige Wärmeerzeugungsmethode genutzt werden aufgrund der geringeren Wärmeerzeugung in den Wintermonaten.

Freiflächenanlagen lassen sich heutzutage gut mit vielen Branchen der Agrikultur kombinieren. Bei den sogenannten Agri-PV-Anlagen können sehr hohe Flächennutzungsraten erreicht werden. Die Möglichkeiten und Varianten von Agri-PV werden in Kapitel 6 (Maßnahmenkatalog) weiter erwähnt.

<sup>10</sup> Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung. 08.2021 Beitrag zur Berichtspflicht EnEff-RL, Artikel 14, Anhang VIII. Umweltbundesamt. CLIMATE CHANGE 54/2021

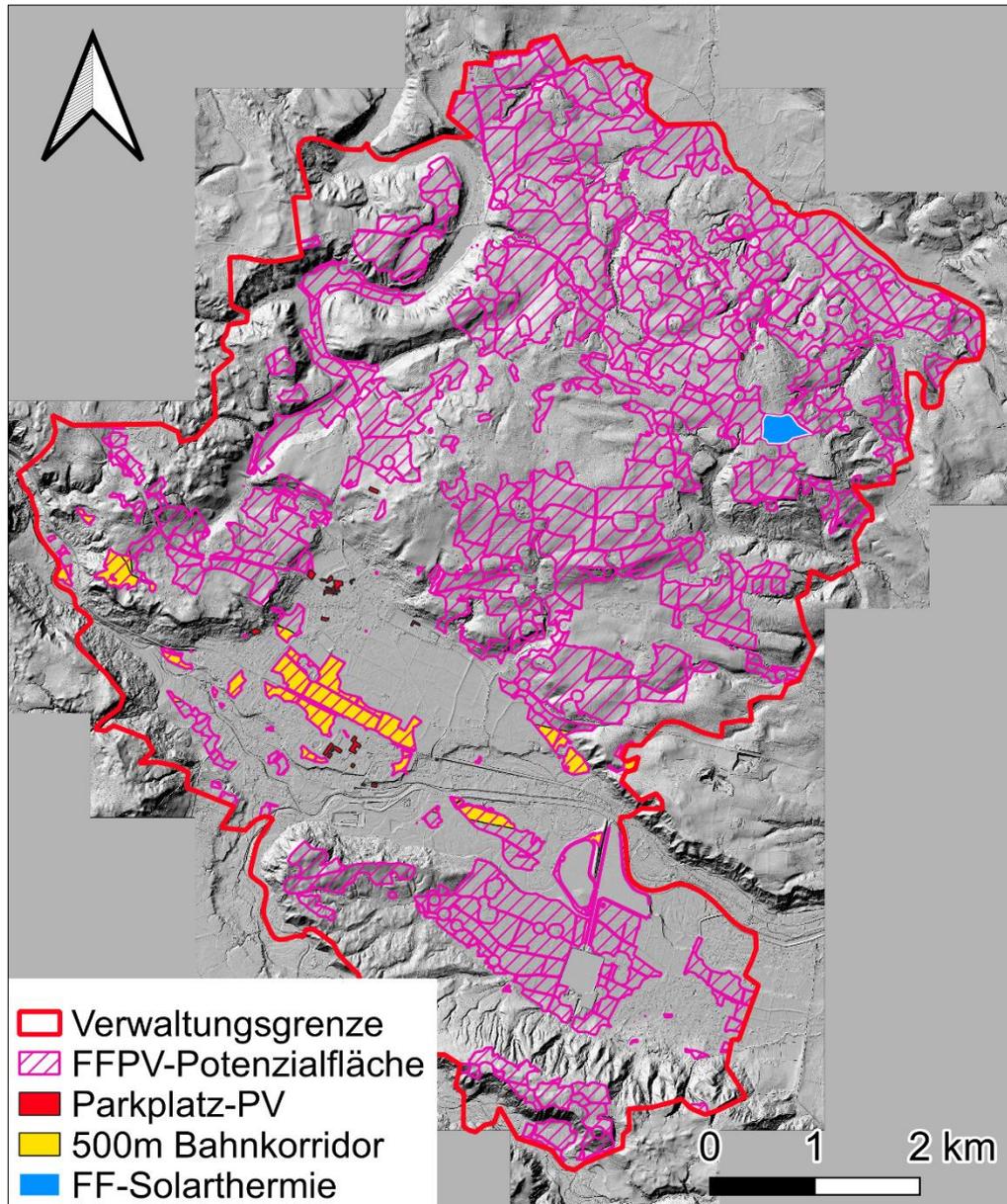


Abbildung 19: Übersicht der Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen und die besonders geeignete FF-Solarthermie Fläche in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham auf einem dreifach überhöhtem DGM. Kartenhintergrund: DGM 1 m, Bayerische Vermessungsverwaltung – [www.geodaten.bayern.de](http://www.geodaten.bayern.de)

## 5.4 Kraft-Wärme-Kopplung

Eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) umschreibt eine gleichzeitige Umwandlung von Energie in elektrische (oder mechanische) Energie und nutzbare Wärme. Der Großteil der KWK-Anlagen wird mit Erd- oder Biogas betrieben. Der Begriff KWK-Anlagen umfasst eine große Bandbreite an Anlagen, die von der Versorgung eines Einfamilienhauses bis zu großen Anlagen für ein Fernwärmesystem reichen. Eine optimale Nutzung von KWK-Anlagen in einem Nahwärmenetz wird durch einen zeitlich versetzten Bedarf an Strom und Wärme und somit eine Kombination von unterschiedlichen Verbrauchern in der direkten Umgebung bewirkt. Hierzu zählen z.B. Schulen, Betriebe, Krankenhäuser und Wohnbebauung. Zudem sollen diese unterschiedlichen Verbraucher räumlich eine geringe Entfernung aufzeichnen, da der Transport von Wärme über größere Distanzen mit Wärmeverlusten und hohen Investitionskosten verbunden ist und nur bei großen Wärmemengen, dann aber ohne Stromerzeugung, sinnvoll ist. In Kombination mit zusätzlichen Wärmespeichern können KWK-Anlagen heutzutage jedoch flexibler eingesetzt werden, und können unter Umständen somit auch für weniger diverse Bereiche als sinnvoll betrachtet werden<sup>11</sup>.

In Abbildung 20 werden mögliche Quartiere für KWK-Nutzung dargestellt, die anhand des Wärmekatasters und der Verteilung von Wohnbebauung, kommunaler Liegenschaften und GHD als potenziell sinnvoll für eine Versorgung mittels KWK-Anlagen identifiziert wurden. Die Größe der Flächen kann je nach Bedarf und Anlagenleistung angepasst werden. Für die Auswahl der sinnvollen Standorte wird ein Anschluss an das vorhandene Gasnetz vorausgesetzt. KWK-Anlagen können jedoch auch mit, oft lokal erzeugtem, Biogas oder Klärgas betrieben werden. So befinden sich bereits 8 Biogas BHKWs in der Gemeinde in Betrieb (vgl. Kapitel 3.1.7). Letztens wird einen hohen Wärmebedarf, und vor allem eine hohe Grundlast vorausgesetzt.

Die hierauf folgenden Planungsschritte (Ermittlung potenzieller Abnehmer, Standortsuche, Leistungsermittlung usw.) sind nicht Bestandteil dieses Konzeptes.

---

<sup>11</sup> *Kurzstudie zur Rolle der KWK in der Energiewende*. 03.2018. Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, DLR-Institut für Technische Thermodynamik

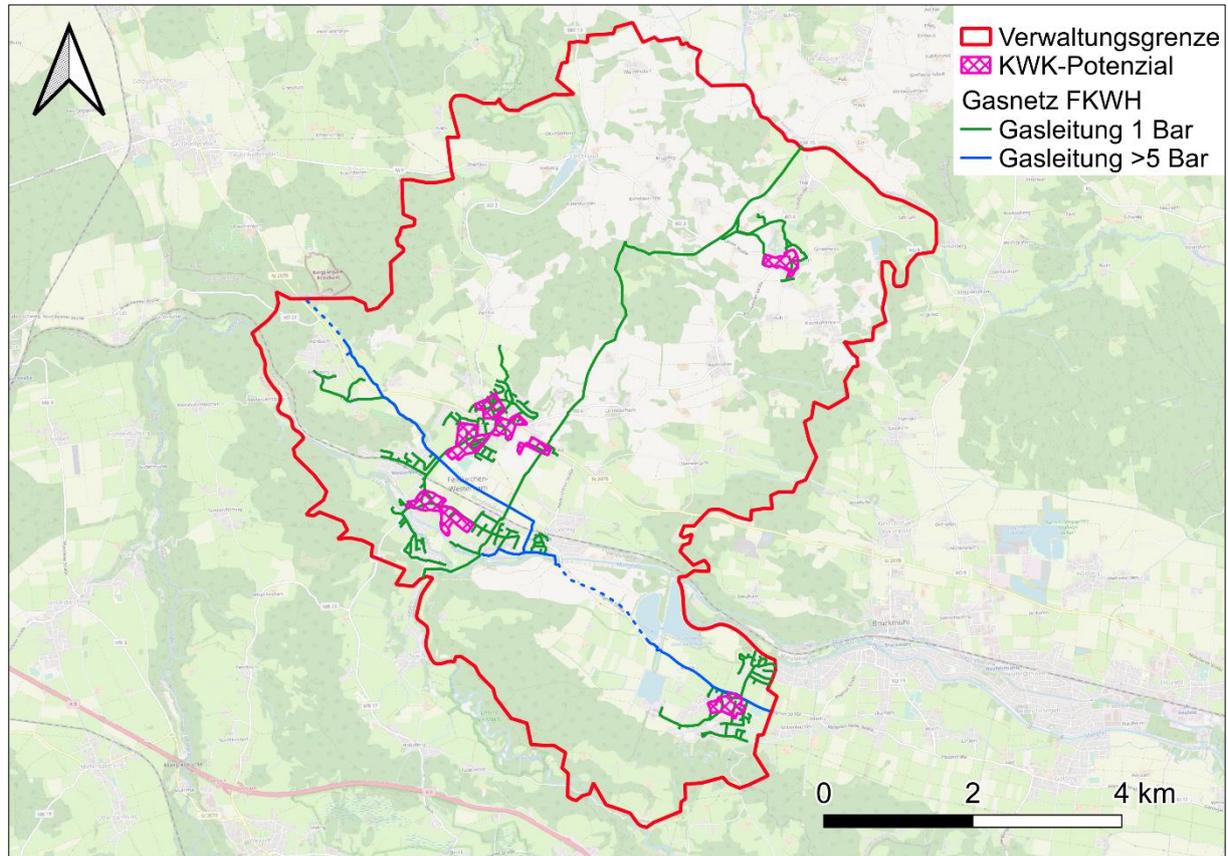


Abbildung 20: Übersicht der KWK-Potenzialflächen im Sinne der Quartiersversorgung.  
 Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

## 5.5 Oberflächennahe Geothermie

Prinzipiell wird bei der Geothermie zwischen oberflächennaher Geothermie und Tiefengeothermie unterschieden. Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Wärme der obersten Erdschicht auf niedrigem Temperaturniveau, die über Sonden oder Erdwärmekollektoren auf ein Arbeitsmedium übertragen und dann mittels Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gehoben wird. Geeignet ist diese Art der Wärmeversorgung vor allem für Gebäude mit Niedertemperaturheizungen, wie z. B. Fußbodenheizungen. Diese Technologie wird bereits in zahlreichen Neubauten angewendet. Vor der Installation von Erdwärmepumpen soll immer überprüft werden, ob Grundwasseranschluss, ausreichend hohe Temperaturniveaus bzw. ausreichende Leitfähigkeiten des Bodens vorhanden sind, um einen entsprechend hohen Coefficient of Performance (COP, Verhältnis von Wärmeleistung und dem dazu erforderlichen Strom) zu erreichen.

Nicht jedes Grundstück bzw. Gebäude ist für oberflächennahe Geothermie geeignet. Generell kann mit einer verstärkten Verwendung von Flächenheizungen (Fußboden-, Wand-, Deckenheizungen)

etwa ab 1995 ausgegangen werden, so dass speziell diese Gebäude in den kommenden Jahren für eine Nachrüstung von Wärmepumpen in Frage kommen. Aus gewässerschutzrechtlichen Gründen ist Wärmaförderung mittels Erdwärmesonden häufig sogar verboten. In den meisten Fällen ist eine Einzelfallprüfung durch die Fachbehörde erforderlich. Die folgende Karte des Energie-Atlas Bayern (Abbildung 21) zeigt die Gegebenheiten in Feldkirchen-Westerham hinsichtlich des Potenzials für Erdwärmesonden, -kollektoren und Grundwasserwärmepumpen und der bereits gebohrten Erdwärmesonden.

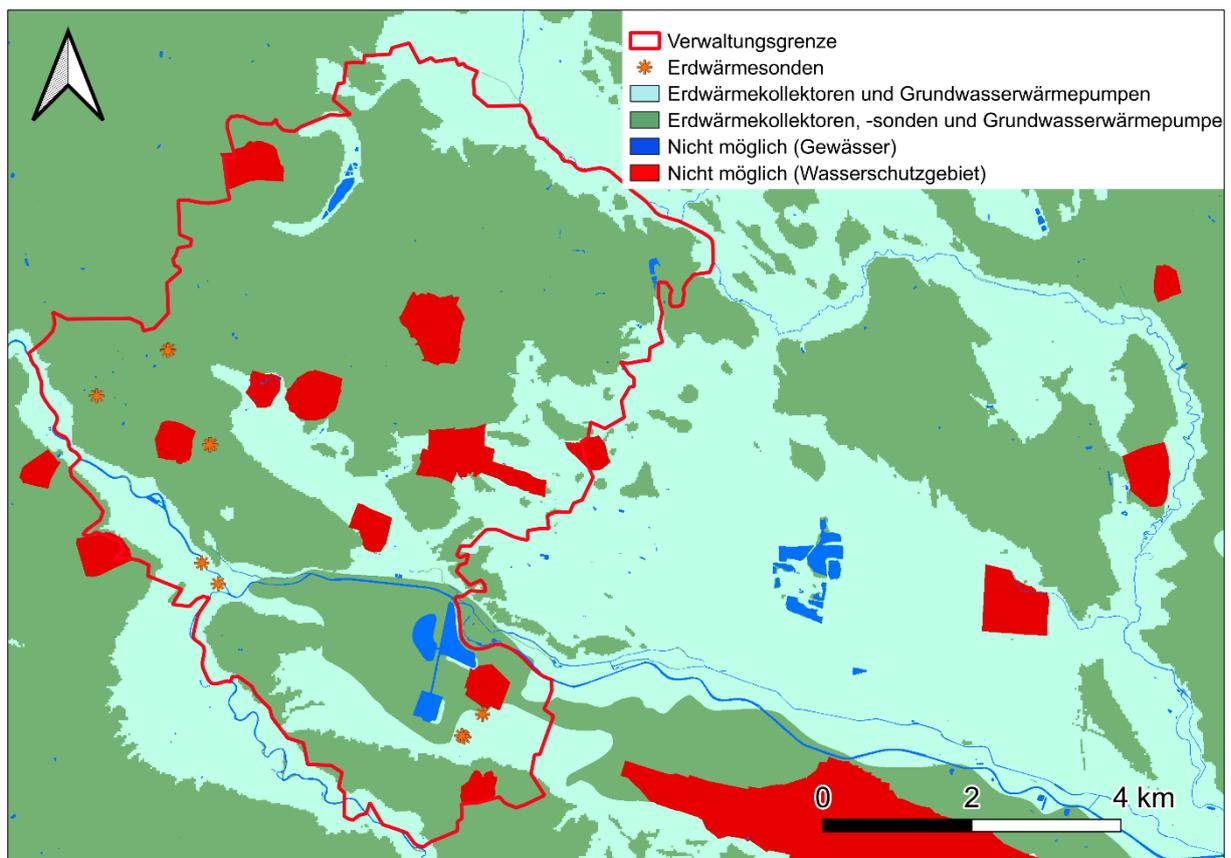


Abbildung 21: Übersicht der möglichen Gebiete für oberflächennahe Geothermie in der Gemeinde Feldkirchen Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

Abbildung 21 zeigt, dass an vielen Stellen in Feldkirchen-Westerham eine oberflächennahe Geothermie möglich ist. Jedoch befinden sich gerade die dicht-besiedelten Ortschaften Feldkirchen und Vagen in einer kritischen Zone für Erdwärmesonden. Vor allem für Neubaugebiete sind Erdwärmesonden eine ökologische und meist auch wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Heizungen oder zur Nahwärmeversorgung. Speziell bei Neubausiedlungen mit hohen Dämmstandards und entsprechend geringen Wärmeverbrauchswerten und niedrigen Vorlauftemperaturen der Heizkreisläufe stößt die Rentabilität von Nahwärmeleitungen oder auch von Gasnetzen häufig an ihre Grenzen. Hier bieten sich Erdwärmepumpen z. B. in Kombination mit solarthermischen Kollektoren an.

Für Erdwärmesonden ist die spezifische Wärmeleitfähigkeit des Bodens sehr relevant. In der Gemeinde liegt diese zwischen 20 m und 100 m Tiefe zwischen 1,2 und 2,4 W/(m\*K). Als Anhang des Energienutzungsplans werden Geodaten übergeben, die für jedes bebaute Flurstück darstellen, wie viele Erdsondenbohrungen pro Grundstück etwa möglich sind. Als Berechnungsgrundlage wurde hierfür einen Sondenabstand von 6 m gemäß Merkblatt Nr. 3.7/2 des Bayerischen Landesamt für Umwelt genutzt<sup>12</sup>. Pro Sonde wird somit eine Fläche von ca. 28,3 m<sup>2</sup> benötigt. Die Gebäudeflächen wurden von den Flurstücken abgezogen. Flurstücke ohne Bebauung sowie große landwirtschaftlich genutzte Flurstücke wurden nicht in Betracht genommen. In dieser Datei kann somit eingesehen werden, wie viele Erdsonden bei optimaler Flächengeometrie maximal pro bebautem Flurstück möglich sind. In der Realität wird die Gesamtanzahl (88.708 Erdsonden) aufgrund teilweise komplexer Geometrien niedriger ausfallen. Aufgrund der starken Unterschiede durch die lokale (Hydro-) Geologie bei den spezifischen thermischen Entzugsleistungen kann kein genaues Potenzial in kWh/a geschätzt werden. Generalisiert kann bei Erdsonden eine Wärmeentzugsmenge von ca. 50 W/m bei 1800 Volllaststunden angenommen werden<sup>13</sup>. Die Verhältnisse zwischen Kälte- und Wärmeleistungen (Wärme, die aus dem Boden entzogen wird und Wärme, die erzeugt wird) sind pro Erdwärmepumpe unterschiedlich. Es wird hier von einem Verhältnis von 1:1,4 ausgegangen. Somit wird bei 50 W/m Kälteleistung ca. 70 W/m Wärme erzeugt. Bei einer Erdwärmesonde von 50 m Länge wird bei 1.800 Volllaststunden somit 6,3 MWh Wärme erzeugt. Bei einer Erdwärmesonde von 100 m ca. 12,6 MWh pro Jahr. Das theoretische Potenzial von Erdwärmesonden in der Gemeinde ist sehr groß (bei 88.708 Erdwärmesonden von 100 m bis zu 1.118 GWh pro Jahr). Diese Menge an Energie ist jedoch technisch nicht umsetzbar. Somit ist die Potenzialermittlung pro Erdsonde sinnvoller.

Für die Erdwärmekollektoren wird die spezifische Wärmeleitfähigkeit der Böden in 1,5 m Tiefe analysiert. In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham liegen diese Werte der Wärmeleitfähigkeit in 1,5 m Tiefe zwischen 1,0 und 1,6 W/m\*K. Diese Werte sind als schlecht bis mäßig zu bezeichnen. Das Potenzial für Erdwärmekollektoren in der Gemeinde ist durch die breite Verfügbarkeit und mäßigen Wärmeleitfähigkeiten mäßig bis gut. Zudem ist die Leistung der Erdwärmekollektoren stark von den klimatologischen Bedingungen abhängig. Gemäß Daten vom ThermoMap herrschen in der Gemeinde die klimatologischen Bedingungen wie in Abbildung 22 dargestellt.

Je nach Bodenaufbau und -feuchte können unterschiedliche spezifische Entzugsleistungen (Kälteleistungen) geschaffen werden. Generalisiert kann für die Gemeinde Feldkirchen-Westerham bei 1.800 Volllaststunden eine Entzugsleistung von ca. 25 W/m<sup>2</sup> geschätzt werden<sup>14</sup>. Werden die

---

<sup>12</sup> Merkblatt Nr. 3.7/2, Planung und Erstellung von Erdwärmesonden. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Stand: Januar 2012.

<sup>13</sup> Bockelmann, F., Peter, M., & Schlosser, M. (2018). *Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen*. Braunschweig: sn.

<sup>14</sup> *Standorte für Erdwärmekollektoren*. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Hannover

oben erwähnten Erdsondenpotenzialflächen ebenfalls für Erdkollektoren genutzt (2.511.281 m<sup>2</sup>), so können insgesamt bis zu 113 GWh/a Wärme dem Boden entzogen werden (Kälteleistung). Je nach Wärmepumpen können somit z.B. ca. 158 GWh/a Wärme produziert werden. Für ein normales Haus mit Garten können z.B. 200 m<sup>2</sup> Erdkollektoren verlegt werden, womit dann ca. 12,6 MWh/a Wärme produziert werden können (vergleichbar mit einer 100 m Erdsonde).

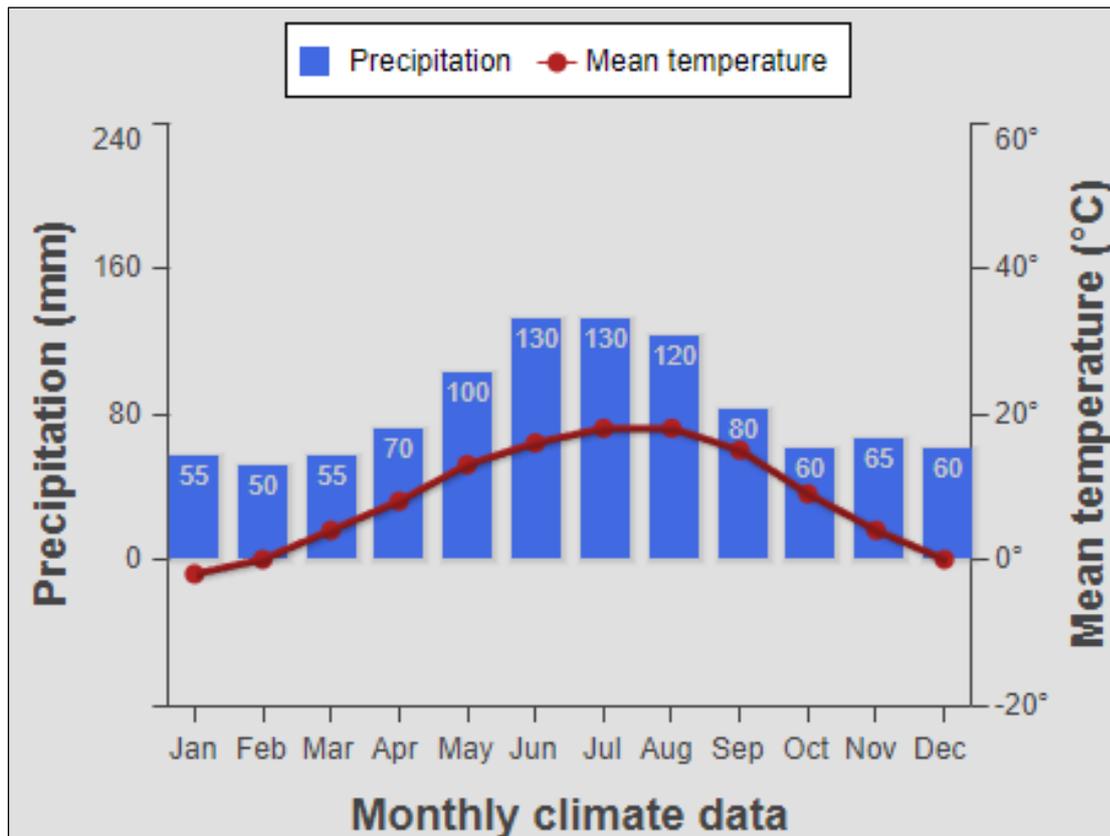


Abbildung 22: Übersicht der klimatologischen Bedingungen, die Einfluss haben auf die Leistung von Erdwärmekollektoren in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Datenquelle: [www.thermomap.eu](http://www.thermomap.eu)

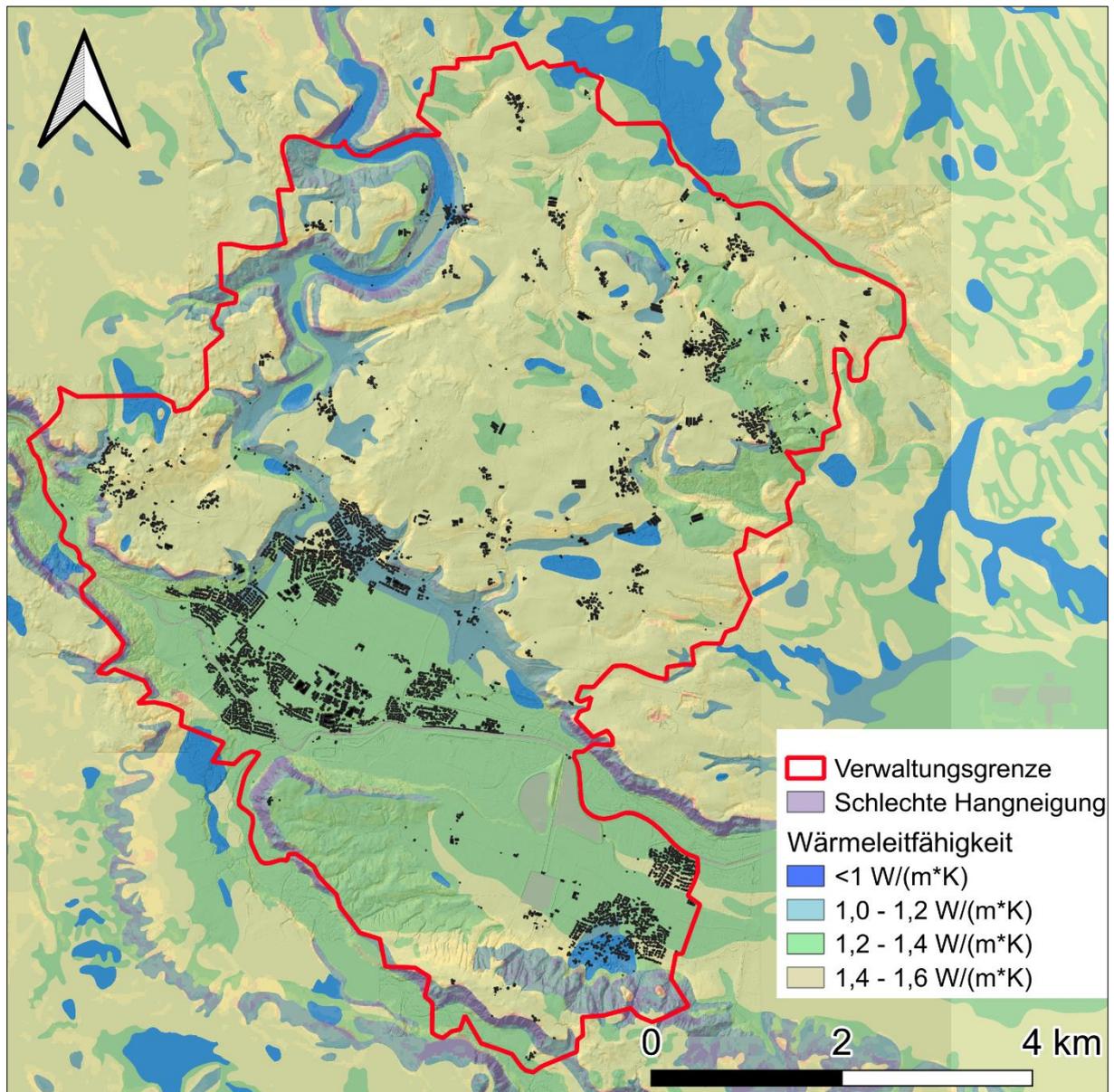


Abbildung 23: Übersicht des Potenzials für Erdwärmekollektoren mit Darstellung der Hanglagen sowie Wärmeleitfähigkeit der Böden. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

Für Grundwasserwärmepumpen sind passende Grundwasserflurabstände gefordert. Diese, sowie die Mächtigkeiten vorhandener Aquifere werden in Zuge von Machbarkeitsstudien ermittelt. Bei größeren Projekten werden für die Potenzialermittlung potenzielle Standorte identifiziert, an denen Probebohrungen gesetzt und Pumpversuche durchgeführt werden. Anschließend wird an dem Standort mit dem vielversprechendsten Grundwasservorkommen ein großes Brunnenpaar (Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen) gebohrt und nochmals ein Pumpversuch durchgeführt. Für die Grundwassernutzung ist die lokale Hydrogeologie relevant. In der Gemeinde sind folgende hydrogeologische Einheiten überwiegend vorhanden:

Tabelle 17: Dominierende Hydrogeologische Einheiten in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham und deren Eigenschaften. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

Einheit	Hydrogeologische Eigenschaften
Moräne im Alpenvorland, undifferenziert	Kleinräumiger Wechsel von Poren-Grundwasserleitern mit geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten und Lockergesteins-Grundwassergeringleitern; überwiegend von lokaler wasserwirtschaftlicher Bedeutung
Moräne im Alpenvorland, überwiegend kiesig-sandig	Poren-Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Durchlässigkeiten und geringen bis mittleren Ergiebigkeiten, wasserwirtschaftlich überwiegend von lokaler, bei Erschließung mit glazifluviatilen Schottern von regionaler Bedeutung
Jüngere Obere Süßwassermolasse (Hangendserie)	In sandig-kiesigen Partien Poren-Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten, in feinkörnigeren Partien mit geringeren Durchlässigkeiten, häufig durch Hausbrunnen genutzt, oft zusammen mit älteren Molasse- oder quartären Einheiten
Talschotter ohne Anbindung an das Talgrundwasser und Quartäre Schotter außerhalb der Täler (glazifluviatile Schotter)	Poren-Grundwasserleiter mit mittleren bis sehr hohen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, Nagelfluh Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter mit geringen bis mittleren Durchlässigkeiten, wasserwirtschaftlich von lokaler bis überregionaler Bedeutung
Talschotter, i. d. R. mit Anbindung an das Talgrundwasser	Poren-Grundwasserleiter mit hohen Durchlässigkeiten und mittleren bis sehr hohen Ergiebigkeiten, bereichsweise hydraulische Verbindung mit glazifluviatilen Schottern, wasserwirtschaftlich von lokaler bis regionaler Bedeutung

Die Talschotter-Einheiten mit mittleren bis höheren Ergiebigkeiten befinden sich bei Feldkirchen und Westerham, südöstlich nach Vagen im Mangfalltal-Bereich, sowie nördlich von Feldkirchen im Kupferbachtal.

Es sind nur wenig Informationen zu Grundwasserflurabständen verfügbar. Zudem können die Flurabstände auch zeitlich variieren, da diese vielen natürlichen Veränderungen wie Niederschlag, Verdunstung und oberirdischer Abfluss unterliegen. Der Gewässerkundliche Dienst Bayern zeigt Grundwassermessstellen zwischen Feldkirchen und Westerham sowie am Mangfall und der Bahnlinie entlang nach Vagen. An der Messstelle WESTERHAM R 15 an der Kreuzung der Bahnlinie

und dem Bachweg ist der Grundwasserflurabstand relativ konstant, und beträgt etwa 548,1 m ü. NN bzw. etwa 4 m unter GOK.

Durch den Auftraggeber wurde angefragt, das Moorgebiet bei Unterlaus bezüglich oberflächennaher Geothermie zu untersuchen, weshalb hier kurz auf das lokale Potenzial eingegangen wird. Nördlich von Unterlaus befindet sich ein FFH-Gebiet, in dem Bohrungen nicht zulässig sind. Außerhalb von dem FFH-Gebiet sind überall Erdwärmekollektoren und Grundwasserwärmepumpen möglich. Zudem liegt der Standort im Bereich der Talschotter-Einheiten, die hohe Ergiebigkeit zeigen können. Erdwärmesonden sind nah an den Weiher nicht, jedoch im östlichen Dorfbereich möglich.

## 5.6 Windkraft

Das dominierende Hauptkriterium für einen geeigneten Standort von Windenergieanlagen (WEA) ist die vorherrschende Windgeschwindigkeit. Sie geht mit der dritten Potenz in die zu gewinnende Energie ein. Bei einer Verdoppelung der Windgeschwindigkeit verachtfacht sich somit der Stromertrag (siehe Formel in Abbildung 24):

$$E_{\text{wind}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \cdot c_p \cdot t$$

$\rho$  = Luftdichte  
 $S$  = Vom Rotor überstrichene Fläche  
 $v$  = Windgeschwindigkeit  
 $c_p$  = Leistungsbeiwert; max. 59,3 %  
 $t$  = Zeit

Abbildung 24: Formel für aus dem Wind gewinnbare Energie

Diese naturwissenschaftlich-technischen Rahmenbedingungen gelten sowohl für große WEA mit Nabenhöhen über 140 m als auch für so genannte Kleinwindenergieanlagen (KWEA). Letztere sind 10 - 50 m hoch und weisen geringere Leistungszahlen und damit auch geringere Ertragspotenziale auf. Es ist also in beiden Fällen entscheidend, einen Standort mit hohen, konstanten Windgeschwindigkeiten auszuwählen. Die Potenzialanalyse der Windenergie fußt auf dem bayerischen Windatlas im Energieatlas Bayern, dessen Datengrundlage räumliche Interpolationen von Windmessdaten unter Berücksichtigung des Reliefs und weiterer naturräumlicher Bedingungen sind. Die Unsicherheiten dieser Daten wachsen daher einerseits mit zunehmendem Abstand zu den Messpunkten und andererseits mit der Heterogenität der Oberflächenbedingungen. Daher ist es durchaus möglich, dass es lokal gut geeignete Standorte gibt, die im Windatlas nicht als solche gekennzeichnet sind.

Neben den natürlichen Rahmenbedingungen sind die rechtlichen Vorgaben für eventuelle Windenergieanlagen zu beachten. Für Großwindenergieanlagen sind nach dem aktuellen Regionalplan 2 Vorrangflächen und ein Vorbehaltsgebiet im Gemeindegebiet ausgewiesen. Im Folgenden wird das technische Potenzial der gesamten Gemeinde betrachtet, jedoch wird auf das Vorbehaltsgebiet und die Vorrangflächen fokussiert. Kleinwindenergieanlagen dürfen bis zu einer Nabenhöhe von 10 Metern verfahrensfrei installiert werden, zwischen 10 und 50 m Höhe besteht eine bauaufsichtliche Genehmigungspflicht. Ab 50 m Gesamthöhe handelt es sich um eine raumbedeutsame Windkraftanlage, d.h. es besteht eine immissionsschutzrechtliche Genehmigungspflicht (4. BImSchV).

### **Potenzial von Kleinwindenergieanlagen (KWEA)**

Bezüglich des technischen Potenzials bildet Abbildung 25 die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ab. In der Regel wird einen Betrieb von Kleinwindkraftanlagen wirtschaftlich sinnvoll bei mittleren Windgeschwindigkeiten ab ca. 4 m/s<sup>15</sup>. Bei dieser Geschwindigkeit erzeugt eine 600-Watt Kleinwindanlage etwa 548kWh/a<sup>16</sup>. Diese Geschwindigkeiten werden laut Windatlas in Feldkirchen-Westerhams nicht erreicht.

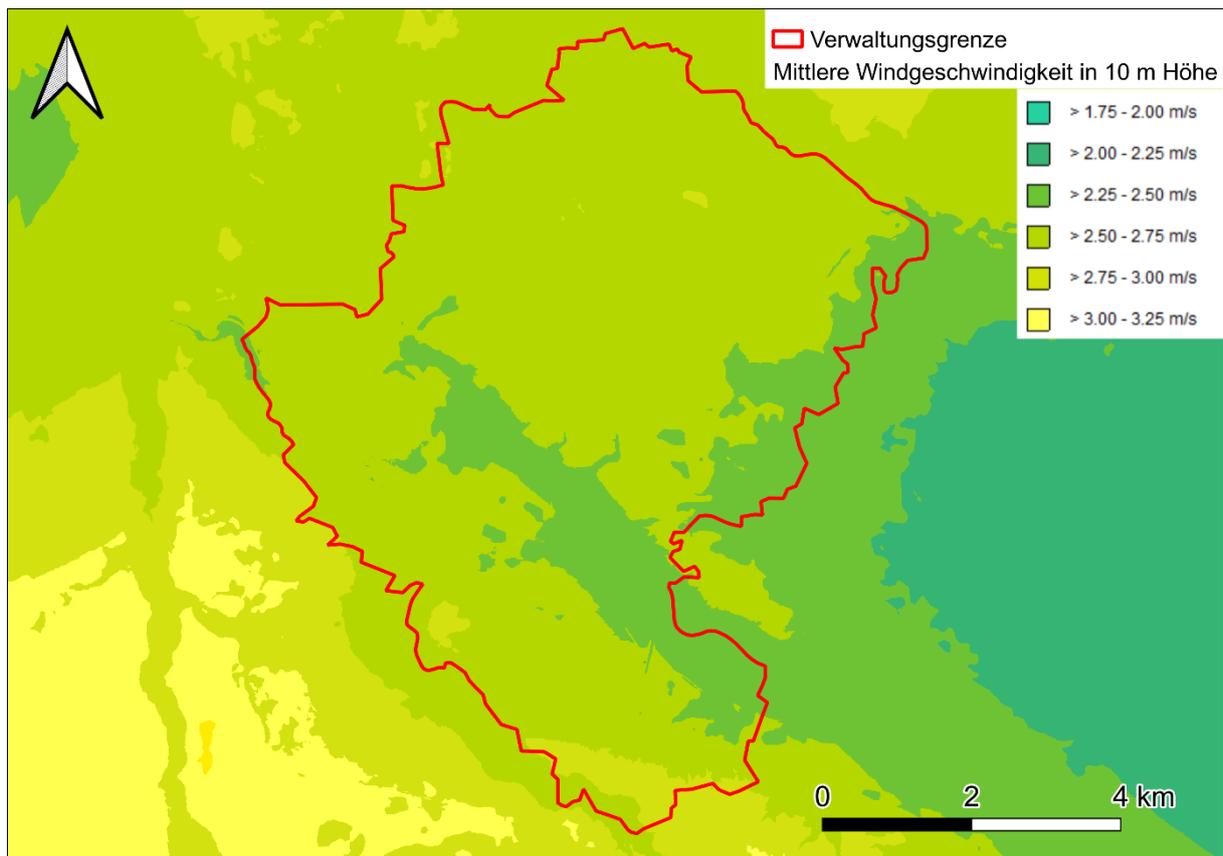


Abbildung 25: Übersicht der möglichen Gebiete für Kleinwindenergieanlagen in der Gemeinde Feldkirchen Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

KWEA sind somit zurzeit in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham als nicht wirtschaftlich sinnvoll zu bewerten.

<sup>15</sup> Windmessung für Kleinwindkraftanlagen. Patrick Jüttemann, Klein-Windkraftanlagen.com

<sup>16</sup> Kleinwindkraftanlagen - Hintergrundinformationen und Handlungsempfehlungen. 2015, C.A.R.M.E.N. e.V.

### **Potenzial von Großwindenergieanlagen (WEA)**

Abbildung 26 stellt die mittlere Windgeschwindigkeit in 140 Meter Höhe laut bayerischem Windatlas, sowie die bereits festgelegten Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Windkraftanlagen dar. Das Minimum für einen wirtschaftlichen Betrieb von Großwindenergieanlagen entspricht rund 5,5 m/s gemäß einer Studie des Umweltamt der Stadt Wiesbaden<sup>17</sup>. Dabei zeigt sich, dass in Feldkirchen-Westerham nur wenige Gebiete das technische Potenzial für WEA aufweisen und keinen Bereichen mit Geschwindigkeiten von über 6 m/s (wirtschaftlich attraktiveren Standorten) vorhanden sind. Zudem wird dieses natürliche Potenzial durch rechtliche Vorgaben hinsichtlich der Abstände zur Wohnbebauung begrenzt.

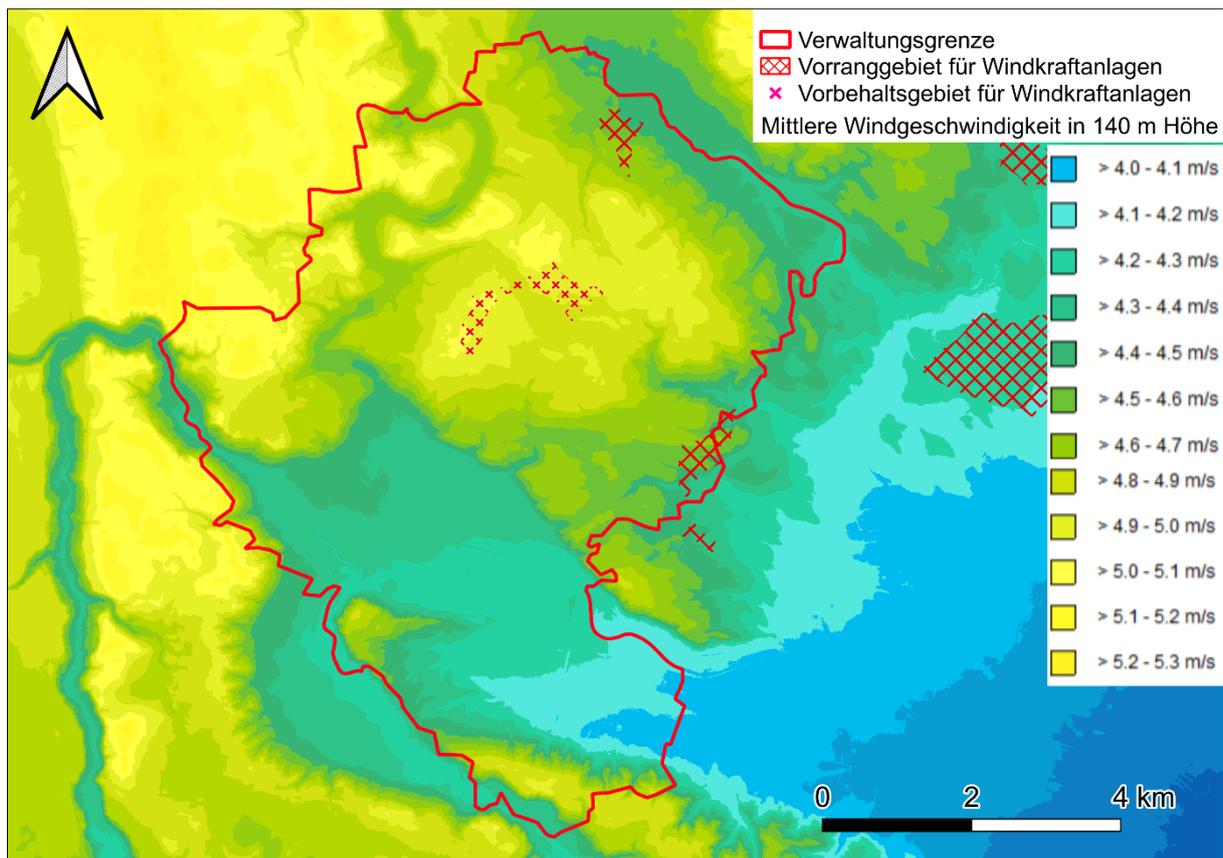


Abbildung 26: Übersicht der möglichen Gebiete für Großwindenergieanlagen in der Gemeinde Feldkirchen Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

Seit Juni 2023 wurde festgelegt, dass in Wäldern, in der Nähe von Gewerbegebieten, an Autobahnen, Bahntrassen und Wind-Vorbehaltsgebieten der Abstand der Windräder zur

<sup>17</sup> *Windpotentialstudie Wiesbaden*. 20.02.2009, JH Wind, im Auftrag des Umweltamt der Stadt Wiesbaden

Wohnbebauung lediglich 1000 Meter betragen muss. In Wind-Vorranggebieten wird dieser Abstand weiter verringert auf rund 800 Meter zu Wohnbebauung<sup>18</sup>. Die bereits festgelegten Vorrang- und Vorbehaltsgebiete stimmen laut Geobasisdaten „Tatsächliche Nutzung“ der Bayerischen Vermessungsverwaltung großteils mit diesen Voraussetzungen überein. Unter Einbehaltung der vorgegebenen Ausschlusskriterien werden die Potenzialflächen durch vorhandene Bebauung und Wasserschutzgebiete etwas reduziert. Insgesamt befinden sich in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham drei Potenzialflächen für Windenergie mit einer Gesamtfläche von 459.324 m<sup>2</sup>.

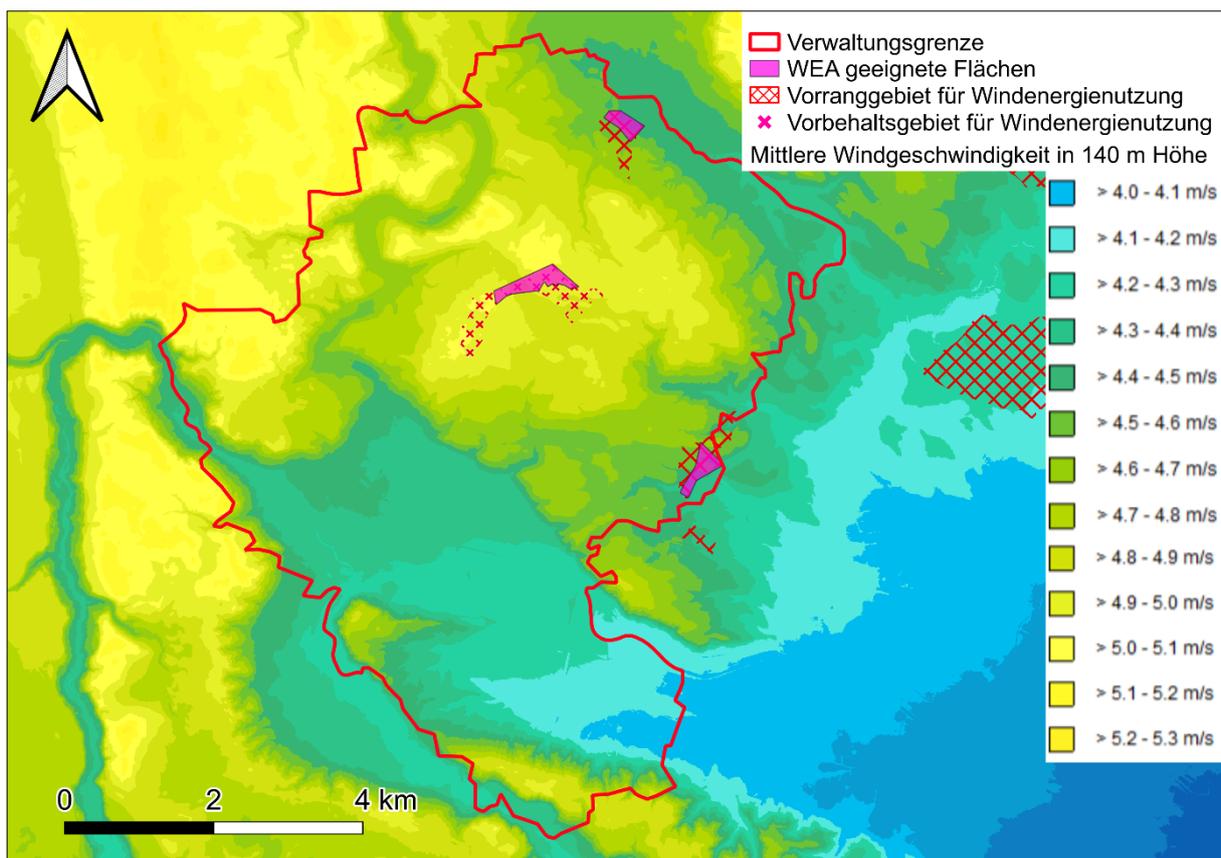


Abbildung 27: Übersicht der geeigneten Gebiete für Großwindenergieanlagen in der Gemeinde Feldkirchen Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

Eine einzige Großwindkraftanlage mit 3 MW installierter Leistung liefert bei realistischen 1.800 Volllaststunden einen Ertrag von 5.400 MWh/a. Das entspricht 6,3 % des gesamten Strombedarfs in Feldkirchen-Westerham, jedoch bereits 13,5% des nicht-erneuerbaren Stromverbrauchs (konventioneller Mix). Damit wären 8 solcher Großwindkraftanlagen nötig, um den Stromverbrauch in Feldkirchen-Westerham bilanziell vollständig über vor Ort erzeugten erneuerbaren Strom abzudecken. Der Flächenbedarf einer solchen Anlage mit einem Rotordurchmesser von ca. 100 m

<sup>18</sup> Pressemitteilungen, 09.11.2022, Pressereferat Bayerische Staatsregierung: „Am 16. November treten die geänderten 10H-Regelungen in Kraft - Die Nachfrage nach neuen Windenergieprojekten ist bereits gestiegen“

(z.B. Enercon E-101) liegt dabei im Bereich von ca.  $117.810 \text{ m}^2$  ( $\pi \times 2,5 \text{ Rotordurchmesser} \times 1,5 \text{ Rotordurchmesser}$ )<sup>19</sup>. Gemäß den Potenzialflächen sind etwa 4 WEA realisierbar. Mit den oben genannten Windkraftanlage mit 3 MW und ca. 1.800 Vollaststunden entspricht dies ein Potenzial von ca. 21.600 MWh/a.

Für eine tatsächliche Potenzialabschätzung und Wirtschaftlichkeitsberechnung sind detaillierte und längere Messungen in der entsprechenden Höhe nötig. Derzeit nimmt der Ausbau der Windenergieanlagen in Bayern aufgrund der geänderten Regel Geschwindigkeit auf. Wichtig bei der Planung sind eine breite Akzeptanz sowie die Einbeziehung der Bürgerschaft und der Nachbargemeinden.

Eine WEA im äußeren östlichen Bereich der geeigneten Fläche im Vorbehaltsgebiet ist bereits in Planung. Wind- und Umweltgutachten zum Vorhaben sind zurzeit in Bearbeitung. Es wird in der Vorhabenbeschreibung einen Windertrag von 8 - 9 GWh/a bei einer Nabenhöhe von 160 m geschätzt. Die ermittelten Windgeschwindigkeiten in der Abbildung 27 auf 140 m Höhe liegen auf 160 m Höhe etwa 0,2 m/s höher. Das Potenzial steigt somit auf dieser Höhe nur geringfügig an.

---

<sup>19</sup> *Überblick Windenergie an Land: Anlagenhöhe | Flächenbedarf | Turbinenanzahl.* 03.2019.  
Fachagentur Windenergie an Land e.V.

## 5.7 Tiefe Geothermie

Im Gegensatz zur oberflächennahen Geothermie nutzt die Tiefengeothermie die hydrothermalen Aquifere in mehreren tausend Metern Tiefe. Durch mindestens eine Förder- und eine Reinjektionsbohrung wird warmes Wasser aus der Tiefe (Thermalwasser) nach oben gefördert, die Wärme über Wärmetauscher abgegeben und anschließend wieder ins Erdreich zurückgepresst. Die gewonnene Wärme wird dann in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist. Ist das Temperaturniveau des Wassers ausreichend hoch (ca. 120°C) kann damit auch Strom erzeugt werden. Die Stromerzeugung aus Tiefengeothermie hat gegenüber vielen anderen erneuerbaren Stromerzeugungsarten den Vorteil, dass sie grundlastfähig ist.

Abbildung 28 gibt Aufschluss darüber, wo aus geologischen Gründen in Feldkirchen-Westerham tiefengeothermische Stromerzeugung und Wärmegegewinnung theoretisch möglich ist bzw. an welchen Stellen eine dezidierte Exploration der möglichen Aquifere Sinn machen könnte. Es wird deutlich, dass tiefengeothermische Wärmeversorgung aus geologischer Sicht im kompletten Gemeindegebiet möglich sein könnte. Tiefengeothermische Stromerzeugung ist in etwa 80 % der Gemeinde möglich.

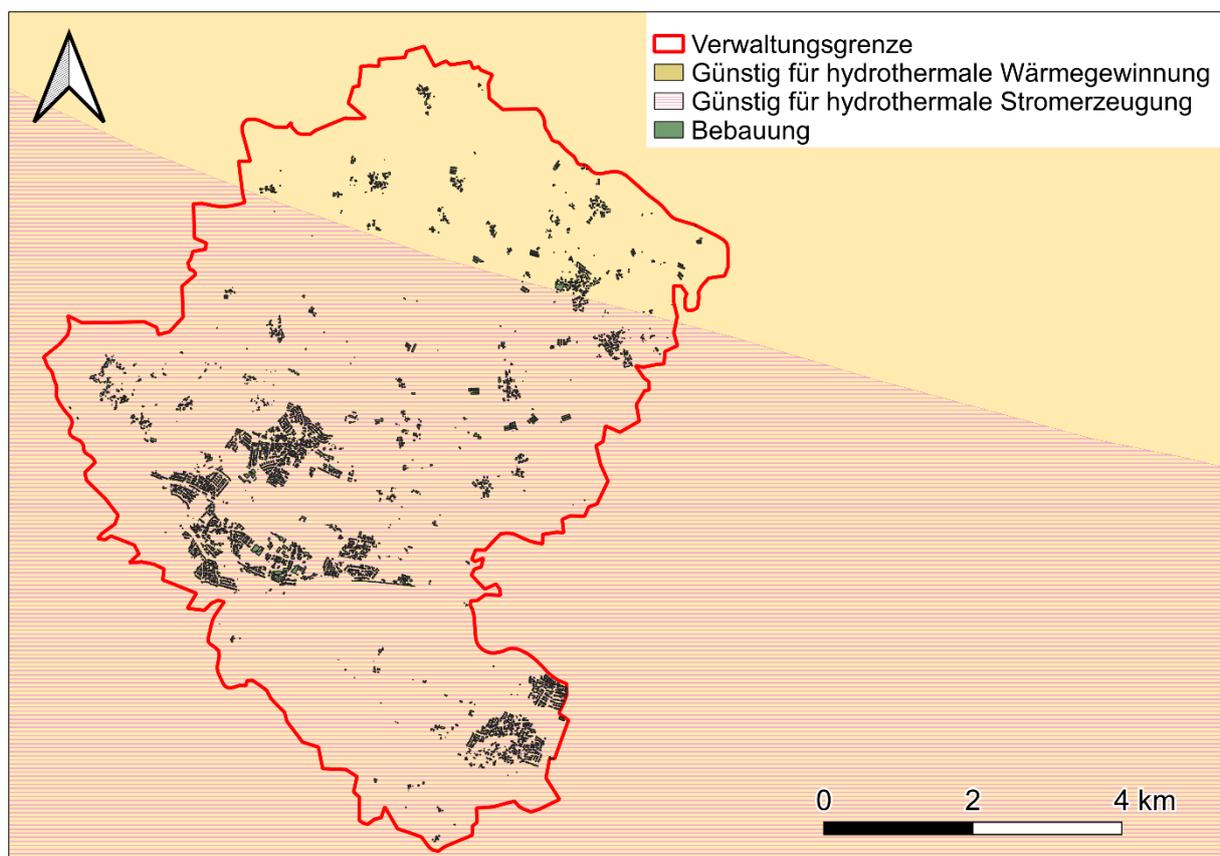


Abbildung 28: Übersicht der möglichen Gebiete für Tiefengeothermie in der Gemeinde Feldkirchen Westerham. Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

Die wärmeführenden Schichten (Heißwasser-Aquifere) mit Temperaturen über 100 °C liegen – sofern vorhanden – in dieser Region gemäß GeotIS ([www.geotis.de](http://www.geotis.de)) in bohrtechnisch erschließbaren Tiefen, jedoch erst ab ca. 4,4 km. Es müssten, bevor Probebohrungen durchgeführt werden können, kostspielige seismische Untersuchungen erfolgen. Insgesamt ist das nötige Investment für Tiefengeothermie sehr hoch und mit großem Risiko negativer Bohrungsergebnisse behaftet. Außerdem sollte ein Mindestwärmebedarf bei vergleichsweise hoher Wärmebedarfsdichte vorhanden sein, um über den Wärmeverkauf die hohen Kosten der Exploration und Installation zu decken. Dies könnte im Zentrum von Feldkirchen-Westerham und unter Berücksichtigung von Gewerbe der Fall sein, sofern ausreichend hohe Anschlussquoten vor allem von Großverbrauchern erreicht werden. Da im Zuge dieser Studie keine genaueren Angaben zu möglichen Aquiferen gemacht werden können, wird an dieser Stelle auf die Angabe eines Tiefengeothermie-Potenzials in MWh oder anteilig am Gesamtenergiebedarf verzichtet. Weitergehenden Analysen müssen zusammen mit dafür spezialisierten Ingenieurbüros und möglichen Investoren unter Einbeziehung der bereits geförderten Geothermie durchgeführt werden, um eine genauere Schätzung des technisch-wirtschaftlichen Potenzials zu erhalten.

Die Geothermieanlage in Holzkirchen liefert einen Vergleich, obwohl laut GeotIS die Temperaturen in Holzkirchen auf gleicher Tiefe höher liegen als in Feldkirchen-Westerham. Die Geothermieanlage in Holzkirchen hat eine Endteufe von 5.078 m, eine Fließrate von ca. 55 l/s und Temperaturen von ca. 150 °C. Im Jahr 2021 wurden 3,8 GWh Wärme und 22,97 GWh Strom produziert.

Eine weitere Option zur Nutzung der Tiefengeothermie ist die Einbringung von sogenannten Tiefen Erdwärmesonden. Dabei werden diese Sonden mehr als 400 m tief in das Erdreich eingebracht und fördern Wärme an die Oberfläche, welche mit Hilfe von hocheffizienten Wärmepumpen auf die nötige Vorlauftemperatur für Heizanlagen gebracht wird, ggf. unterstützt durch BHKWs o.ä.. Der Vorteil dieser Technik liegt darin, dass hier keine Heißwasser-Aquifere benötigt werden und damit das Fündigkeitsrisiko bei null liegt. Allerdings ist die erschließbare Leistung hier begrenzt auf wenige hundert kW, so dass sich diese Technik eher für einzelne Großverbraucher oder als Wärmequelle in kleinen Nahwärmenetzen eignet<sup>20</sup>.

Aktuell laufen über die Neenah Gessner GmbH Untersuchungen zum Thema Tiefe Geothermie in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Eine Vormachbarkeitsstudie zur Durchführbarkeit, Wärmedargebot sowie zum geologischen Untergrund liegt bereits vor<sup>21</sup>. Es wurde in dieser Studie ermittelt, dass die voraussichtliche Tiefe des Tiefengrundwasserleiters bei ca. 4.600 m unter GOK liegt. Ebenfalls wurde festgestellt, dass die Möglichkeit besteht, bei den Bohrungen Kohlenwasserstoffe ((Erdöl und Erdgas) anzutreffen. Weitere Ergebnisse sind abzuwarten.

---

<sup>20</sup> *Erdwärme – die Energiequelle aus der Tiefe*. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Stand: April 2016

<sup>21</sup> *Geothermie Neenah Gessner GmbH, Vormachbarkeitsstudie*. Erdwerk GmbH. Stand: 07.11.2022

## 6. Maßnahmenkatalog

In diesem Kapitel werden auf Basis der Kapitel Ist-Zustand und Potenzialanalyse sinnhafte Maßnahmen für die Gemeinde Feldkirchen-Westerham konzipiert. Die nachfolgenden 10 Maßnahmen wurden spezifisch für die Gemeinde aufgebaut anhand deren Anforderungen und Möglichkeiten. Die Maßnahmen werden im Steckbriefformat dargestellt. Hierbei werden je nach Maßnahme die Zielsetzungen, die Inhalte der Maßnahmen, die Kosten und Fördermöglichkeiten, die spezifischen Herausforderungen sowie die möglichen Abläufe beschrieben. Ziel des Maßnahmenkataloges ist es, eine Übersicht der sinnhaften potenziellen Maßnahmen für die Gemeinde zu erschaffen, und den Weg in die Umsetzung darzustellen, damit sich die Hürden zur Umsetzung reduzieren. Der Maßnahmenkatalog stellt sich aus den folgenden Maßnahmen zusammen:

- Verbesserung der kommunal erfassten klimarelevanten Datenlage
- Übergreifende energetische Gebäudesanierungen und Öffentlichkeitsarbeit
- Einbau von smarten Thermostaten mit künstlicher Intelligenz
- Effizienzsteigerung bei der Mobilität
- Wärmeversorgungskonzepte für dünn besiedelte Ortsteile
- Effiziente Wärmeversorgung über Wärmepumpen
- Zweite Windenergieanlage im Riedholz, Flurstück 1699 / 1741
- Errichtung von Agri-PV Anlagen
- Solare Nahwärme und Langzeitwärmespeicher in Neubausiedlungen
- Nutzung der Abwärme von bestehenden Biogas-BHKWs

<p>Verbesserung der kommunal erfassten klimarelevanten Datenlage</p>	<p>Feldkirchen- Westerham</p>	 <p>Effizienz</p>
<p><b>Zielsetzung:</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Datenlage für eine schnellere und effizientere Umsetzung zukünftiger Klimaschutzmaßnahmen</li> </ul>		
<p><b>Beschreibung:</b></p>		
<p>Zum Entwurf von Konzepten und Maßnahmen wird eine gute kommunale Datenlage der klimarelevanten Aspekte gefordert. Während der Erstellung dieses ENPs wurde festgestellt, dass viele der relevanten Daten nicht vorliegen oder nicht verarbeitet wurden, was eine genaue Datenerhebung, Feststellung von Potenzialen und Konzipierung von Maßnahmen erheblich verschlechtert. Eine Erfassung und Bereitstellung folgender Daten sind für zukünftige Projekte von hoher Relevanz:</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung und Aktualisierung von (Nah)Wärmenetze inklusive deren Erzeugungs- und Verbrauchsdaten</li> <li>- Erfassung der Baujahre und Wohnflächen der Bestandsbebauung</li> <li>- Bündelung der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen an gemeindlichen Gebäuden in jährlichem Bericht</li> <li>- Jährliche Erfassung von Strom- und Wärmeverbrauch der nicht-kommunalen Gebäuden durch Umfragen, Kaminkehrer etc. (zukünftig über LfStat)</li> <li>- Jährliche Erfassung von Daten der großen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen im Gemeindegebiet</li> <li>- Erfassung und Digitalisierung der Energieausweise der Gebäude (bereits in Umsetzung)</li> </ul>		
<p>Gemeinden mit einer guten Datenlage zu den oben genannte Themenpunkte profitieren von einer genauen Bedarfslage, was eine genaue (Aus)Bauplanung ermöglicht. Für die Planung von z.B. Wärmenetze und dazugehörigen Wärmeerzeugungsanlagen sind solche Datenlagen unabdingbar.</p>		
<p><b>Gemeinde &amp; Akteure:</b></p>		
<p>Gemeinde Feldkirchen-Westerham, eventuell Landratsamt</p>		
<p><b>Kosten &amp; Förderung:</b></p>		
<p>Lohnkosten der jeweiligen Arbeitnehmer</p>		
<p><b>Wirksamkeit:</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Potenzialanalysen zukünftiger Projekte</li> <li>- Geringere Kosten zukünftiger Konzepte durch geringere Bearbeitungsdauer</li> <li>- Bessere und genauere Planung von Klimaschutzmaßnahmen, Wärmenetze, etc.</li> <li>- Genaue Ermittlung des Sanierungsbedarf</li> </ul>		

<b>Herausforderungen:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Ressourcen der Gemeinde (Personal)</li><li>- Intensive Umfragen zum aktuellen Stand</li><li>- Ausführliche Aktenrecherchen</li></ul>

<h2 style="margin: 0;">Übergreifende energetische Gebäudesanierungen und Öffentlichkeitsarbeit</h2>	Feldkirchen- Westerham	
<b>Zielsetzung:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien sowie der Steigerung der Energieeffizienz</li> <li>- CO2-Einsparung</li> </ul>		
<b>Beschreibung:</b>		
<p>Das hohe Potenzial im Bereich der Energieeinsparung und -effizienz (siehe Potenzialanalyse) kann einen erheblichen Anteil zur Energiewende beitragen. Leider wird dies mit einer aktuellen Sanierungsrate in Deutschland von ca. 1 % des Gebäudebestandes pro Jahr nicht möglich sein. Gründe dafür sind mangelnde Markttransparenz und Information der Eigentümer, Finanzierungsprobleme der Eigentümer und vieles mehr. Dies gibt Anlass, verstärkt Maßnahmen zum Abbau dieser Hindernisse durchzuführen. Vor allem im Bereich der Mehrfamilienhäuser lässt sich ein deutlicher „Sanierungstau“ erkennen.</p> <p>Eine mögliche Gegenmaßnahme bietet die Vernetzung von Sanierungstätigkeiten in homogenen Gebieten. Beispielsweise können über GIS-Wohngebiete mit ähnlichen Gebäudeeigenschaften (Alter, Typ, Energieverbrauch) ausfindig gemacht werden (vgl. Wärmekataster). Hier könnten der Gemeinderat und die Gemeindeverwaltung ein übergreifendes Sanierungskonzept anstoßen. Dabei ist es wichtig, die Gebäude- oder Wohnungseigentümer und die Mieter einzubinden und zu informieren. Eine gezielte siedlungs- oder quartiersbezogene Öffentlichkeitsarbeit ist in diesem Rahmen sehr effektiv, da viele Kernthemen oft nur einen lokal begrenzten Ortsteil betreffen. Das Ziel solcher übergreifender Sanierungskonzepte und Öffentlichkeitsarbeit ist daher die Nutzung von Synergieeffekten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Empfehlung konkreter Sanierungsmaßnahmen wirkt Problemen wie mangelnde Markttransparenz und Information der Gebäude- oder Wohnungseigentümer, etc. entgegen</li> <li>- Finanzielle Entlastung der Gebäude- oder Wohnungseigentümer durch kostensenkende Effekte über Sammelbestellungen</li> <li>- Gezielte Informationen zu relevanten Förderprogrammen</li> <li>- Die übergreifende Betrachtung ermöglicht die Durchführung effizienter Konzepte (z.B. Nahwärmekonzepte)</li> </ul> <p>Grundsätzlich sollte bei der Durchführung solcher Konzepte vor allem im Bereich der Mehrfamilienhäuser die Sozialverträglichkeit von Sanierungsmaßnahmen beachtet werden. Des Weiteren darf bei der Gebäudesanierung die Nachhaltigkeit, d.h. eine gesamtenergetische Betrachtung des Gebäudelebenszyklus nicht außer Acht gelassen werden.</p>		

<b>Gemeinde &amp; Akteure:</b>
Gemeinde Feldkirchen-Westerham, eventuell Landratsamt
<b>Kosten &amp; Förderung:</b>
<p>Kosten individuell je nach Umfang.</p> <p>Beispiele gemäß Sanierungsleitfaden Baden-Württemberg:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dämmung der Fassade: 140 € / m<sup>2</sup></li> <li>- Dachdämmung (von innen): 100 € / m<sup>2</sup></li> <li>- Austausch der Fenster: 550 € / m<sup>2</sup></li> <li>- Dämmung der Kellerdecke: 50 € / m<sup>2</sup></li> </ul> <p>Förderprogramme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bayerisches Modernisierungsprogramm (BayModR) – Zinsverbilligtes Darlehen und ergänzende Zuschüsse (200 – 300 €/m<sup>2</sup>)</li> <li>- Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss (20 – 50 %)</li> <li>- Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) (10 – 50%)</li> <li>- Energieberatung für Wohngebäude (80 %)</li> <li>- Bundesförderung für Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme</li> </ul>
<b>Ablauf:</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Analyse geeigneter Gebiete (z.B. über GIS): Gebiete im Wärmekataster</li> <li>2) Entwicklung eines Sanierungskonzepts, z.B.:       <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Mustersanierung eines typischen Gebäudes durchrechnen lassen</li> <li>b. Möglichkeiten des Austauschs alter Stromheizungen zusammenstellen</li> <li>c. Optionen zur Optimierung der Heizanlage entwickeln</li> <li>d. Gemeinschaftliche Bestellungen von Umwälzpumpen, PV-Anlagen, Solarthermieanlagen, etc.</li> </ol> </li> <li>3) Handlungsempfehlungen an Gebäude- oder Wohnungseigentümer weitergeben</li> <li>4) Organisation von Sammelbestellungen zusammen mit ortsansässigen Firmen</li> <li>5) Maßnahmen öffentlichkeitswirksam darstellen</li> </ol>
<b>Wirksamkeit:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzierung des Energieverbrauchs und Treibhausgasemissionen</li> <li>- Vorbildfunktion der Gemeinde</li> <li>- Sozialverträgliche Quartierssanierung durch Einbindung aller Akteure</li> <li>- Identifikation und Akzeptanz mit Baumaßnahmen</li> </ul>
<b>Herausforderungen:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beteiligungswille der Gebäude- oder Wohnungseigentümer</li> <li>- Ressourcen der Gemeinde (Personal, Finanzen)</li> </ul>

<p style="text-align: center;">Einbau von smarten Thermostaten mit künstlicher Intelligenz</p>	Feldkirchen-Westerham	 Effizienz
<b>Zielsetzung:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steigerung der Energieeffizienz</li> <li>- CO2-Einsparung</li> </ul>		
<b>Beschreibung:</b>		
<p>Die Beeinflussung von Nutzerverhalten zur Energieeinsparung ist bekanntlich schwierig. Das Nutzerverhalten kann jedoch einen erheblichen Unterschied des Wärmeverbrauches machen in Wohngebäuden. Anhand von smarten Thermostaten können Heizungen kontinuierlich überwacht werden und an das Verhalten der Nutzer angepasst werden. Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (KI) kann dies sogar automatisch geregelt werden.</p>		
<p>Der Einbau von smarten Thermostaten liefert pro Euro einer der höchsten Wirkungsgrade für einzelne Gebäude. Die Kosten unterscheiden sich pro Anbieter und Anzahl gekaufter Einheiten. Werden von der Gemeinde aus z.B. große Mengen smarten Thermostaten bestellt, reduzieren sich die Preise pro Einheit.</p>		
<p>Eine Alternative für Besitzer von PV-Anlagen liegt in der Benutzung von Smartphone Apps, die eine effizientere Nutzung des selbst erzeugten Stroms ermöglichen. Mit diesen Apps können z.B. Leistungen von Wärmepumpen, Ladegeräte von E-Autos usw. intelligent an den aktuellen Energiefluss der PV-Anlage angepasst werden, um weniger Strom aus dem Netz zu verbrauchen.</p>		
<b>Gemeinde &amp; Akteure:</b>		
Gemeinde Feldkirchen-Westerham, Hauseigentümer		
<b>Kosten &amp; Förderung:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten individuell je nach Heizungsanlage und Hersteller ca. 1.000 € pro Anlage.</li> <li>- Monatliche Kosten für Apps, KI, etc. zwischen etwa 3 - 30€ pro Monat</li> </ul>		
<b>Wirksamkeit:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzierung des Wärmeverbrauchs um 8 - 28 %</li> <li>- Erhöhte Effizienz ohne Heizungs austausch bei geringeren Kosten</li> <li>- Einfache Installation ohne größere Baumaßnahmen</li> </ul>		
<b>Herausforderungen:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beteiligungswille der Gebäude- oder Wohnungseigentümer</li> <li>- Ressourcen der Gemeinde (Personal, Finanzen)</li> </ul>		

<h2 style="margin: 0;">Effizienzsteigerung bei der Mobilität</h2>	Feldkirchen- Westerham	 Erneuerbare
<b>Zielsetzung:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weniger (Verbrenner-)Autos im Verkehr</li> <li>- Mehr Fahrräder</li> </ul>		
<b>Beschreibung:</b>		
<p>Der Verkehr verursacht in Deutschland fast ein Drittel des gesamten Kohlendioxid-Ausstoßes. In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham fällt diese Zahl, vor allem durch den großen Anteil Industrie, geringer aus (15,3 % in 2019). Exklusive Industrie war der Verkehr jedoch für 40,7 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Gemeinde verantwortlich. Um diese schädlichen Emissionen zu verringern bieten sich viele Alternativen an. Durch einen richtigen Mix folgender Alternativen lassen sich hohe Einsparungen erreichen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit dem Fahrrad fahren</li> <li>- Öffentliche Verkehrsmittel optimieren</li> <li>- Fahrgemeinschaften bilden, Mitfahrzentrale</li> <li>- Carsharing</li> <li>- Fahrweise anpassen</li> <li>- E-Mobilität (E-Auto und Pedelec)</li> </ul> <p>Da Mobilität seine Grenzen nur selten an der Gemeindegrenze hat, empfiehlt sich eine regionale Zusammenarbeit. Die Gemeinde Feldkirchen-Westerham hat mit Ihrem Bürgerbus bereits erste Schritte in die richtige Richtung gesetzt. Nun muss die Umsetzung verstärkt angegangen werden.</p> <p>Zurzeit gibt es zum Beispiel viele Förderprogramme zum Thema Radmobilität in Bayern. Das Radnetz in Feldkirchen-Westerham lässt zurzeit zu wünschen übrig. Beispielweise wird in den Nachbarländer Dänemark und Niederlande viel CO<sub>2</sub> eingespart durch die umfangreiche tägliche Benutzung von Fahrrädern. Ohne eine vernünftige Infrastruktur ist es in dieser Größenordnung jedoch erst gar nicht möglich.</p> <p>Des Weiteren könnte idealerweise vom Landkreis aber auch rein von der Gemeinde Feldkirchen-Westerham eine Aktion für Radfahrer (z.B. Bonus für Berufsradfahrer in Form von Gutscheinen, etc.) durchgeführt werden. Ein Weiterer Vorschlag wäre die verstärkte Werbung für die vorhandenen E-Tankstellen im Landkreis und ein Ausbau des E-Tankstellennetzes. Letztes ist teilweise schon in Umsetzung: es werden in 2024 5 weitere Ladestationen aufgebaut. Es empfiehlt sich, die Umsetzung in Feldkirchen-Westerham forciert voranzutreiben.</p>		

<b>Gemeinde &amp; Akteure:</b>
Gemeinde Feldkirchen-Westerham, weitere Landkreisgemeinden, Landratsamt, Unternehmen, Bürger
<b>Kosten &amp; Förderung:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- E-Auto: ab ca. 20.000 €</li> <li>- E-Bike: 1.000 € - 3.000 €</li> <li>- E-Tankstelle: ab 1.200€ (Wallbox, einphasig) – 25.000 € (350 kW) excl. Fundament und Installation</li> <li>- Individuelle Kosten je nach Maßnahme</li> </ul> <p>Förderungsprogramme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Mobilität im ländlichen Raum für bedarfsorientierte Bedienformen des allgemeinen ÖPNV und Pilotprojekte landkreisübergreifender Expressbusverbindungen im Omnibusverkehr</li> <li>- Förderrichtlinie Elektromobilität</li> <li>- Klimaschutzinitiative – E-Lastenfahrräder in Wirtschaft und Kommunen (E-Lastenfahrrad-Richtlinie)</li> <li>- Sonderprogramm Stadt und Land</li> <li>- Förderung von nicht investiven Maßnahmen zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans</li> <li>- Innovative Projekte zur Verbesserung des Radverkehrs in Deutschland</li> <li>- Bürgerbusprojekte</li> <li>- Dorferneuerungsrichtlinien (DorfR)</li> <li>- Förderrichtlinien Kommunaler Klimaschutz – KommKlimaFÖR</li> <li>- Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland</li> <li>- Alternative Antriebe von Bussen im Personenverkehr</li> <li>- Klimaschutzinitiative – Klimaschutz durch Radverkehr</li> <li>- Förderung des öffentlichen Personennahverkehrs (RZÖPNV)</li> <li>- Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Bayern 2.0</li> <li>- Kraftomnibusse Anschaffung im ÖPNV</li> <li>- Förderrichtlinie Landesentwicklung – FöRLa</li> <li>- Betriebliches Mobilitätsmanagement BMM+</li> </ul>
<b>Ablauf:</b>
<p>E-Mobilität:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Bedarf analysieren</li> <li>2) Geeignete Standorte festlegen</li> <li>3) Typ der E-Tankstelle sowie der E-Mobile auswählen</li> <li>4) Installation der E-Tankstellen</li> <li>5) Betrieb und Wartung</li> </ol>
<b>Wirksamkeit:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzierung von Treibhausgasemissionen</li> </ul>

- Verbesserung der Luftqualität
- Verminderung von Lärmbelastung
- Vorbildfunktion der Gemeinde und des Landkreises

**Herausforderungen:**

- E-Autos und Pedelecs sollten mit erneuerbarer Energie geladen werden
- Umbau der Bestandsinfrastruktur für Radwege, ggf. Kauf von (Teil)Grundstücke
- Fehlender Platz an Verkehrswegen (siehe Strecke Feldkirchen-Höhenrain)
- Überwindung von Höhenunterschieden mit Rad

<h2 style="margin: 0;">Wärmeversorgungskonzepte für dünn besiedelte Ortsteile</h2>	<b>Feldkirchen- Westerham</b>	 <b>Effizienz</b>
<b>Zielsetzung:</b>		
Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien sowie Steigerung der Energieeffizienz in Gebieten mit geringer Wärmebedarfsdichte		
<b>Beschreibung:</b>		
<p>Gerade in kleineren Ortschaften, Weilern und dünn besiedelten Ortsteilen, wie sie im Gemeindegebiet Feldkirchen-Westerham häufig vorkommen, liegt die Wärmebedarfsdichte auch im Altbaubestand häufig auf sehr niedrigem Niveau. Dies begründet sich in erster Linie mit der weitläufigeren Anordnung der Gebäude (große Grundstücke) und der Dominanz von Einfamilienhäusern. Als Folge hiervon lässt sich in der Regel keine konventionelle Nahwärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien wirtschaftlich und effizient betreiben. Somit müssen andere Wege eingeschlagen werden, um Energieeinsparung und den Umstieg auf erneuerbare Energien zu beschleunigen. Einige Optionen sind im Folgenden beschrieben, wenn auch immer im Einzelfall zu prüfen ist, welche Maßnahme sich für welche Siedlung eignet.</p> <p style="text-align: center;"><b>1. Gemeinschaftliche Wärmeversorgung:</b></p> <p>Aufgrund der geringen Wärmebelegung sind Wärmenetze nur dann sinnvoll zu betreiben, wenn Abwärme vorhanden ist, Brennstoffe günstig bezogen werden können oder die Netzbetriebsweise an die Gegebenheiten angepasst wird.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachbarschaftliche Wärmeversorgung: sofern der Ort durch landwirtschaftliche Betriebe geprägt ist, bietet dies teilweise die Option einer nachbarschaftlichen biogenen Wärmeversorgung. Der Vorteil ist hierbei, dass Holzhackschnitzel oft vorhanden sind oder günstig bezogen werden können. Alternativ wäre auch das Konzept einer Klein-Güllebiogasanlage denkbar, sofern ausreichend Großvieheinheiten (auch betriebsübergreifend) vorhanden sind. Bei Aschhofen und Ober- und Unterwertach sind bereits einige solcher Biogasanlagen vorhanden.</li> <li>- Solarthermische Unterstützung: die höheren relativen Leitungsverluste könnten über die Einbindung „kostenloser“ und emissionsfreier Solarthermie-Wärme kompensiert werden. Hier bieten sich aus Gründen der Investitionskosten in erster Linie Freiflächenanlagen an, aber auch dezentrale Einspeisung ist denkbar (Solarthermie-Anlagen auf Gebäuden).</li> </ul>		

- Kalte Nahwärme: sofern Niedertemperatur-Abwärme vorhanden oder günstig zu erzeugen ist, könnte diese über Wärmeleitungen verlustarm zu den Gebäuden befördert und dort mit Wärmepumpen auf Heiztemperaturniveau gebracht werden.
- Netzabschaltung im Sommer: außerhalb der Heizperiode wird das Nahwärmenetz abgeschaltet, um die Verluste zu minimieren. Das benötigte Brauchwarmwasser wird dezentral durch Luft/Wasser-Wärmepumpen in den Gebäuden bereitgestellt.
- Bedarfsorientierter Sommerbetrieb: jedes angeschlossene Gebäude erhält einen größeren Brauchwasserspeicher, der mit der Heizzentrale kommunizieren kann. Außerhalb der Heizperiode wird dann das Netz abgeschaltet und nur dann hochgefahren, wenn diese Speicher wieder aufgeladen werden müssen (alle 1-2 Tage).

Alle diese Konzepte wurden bereits realisiert, bedürfen aber eines höheren Planungsaufwands.

## 2. Ansätze ohne Nahwärmeversorgung:

Diese Vorschläge dienen in erster Linie dazu, die Energieversorgung der Einzelgebäude zu optimieren und den Anteil der erneuerbaren Energien dezentral zu erhöhen. Grundsätzlich ist hier ein höherer Aufwand nötig, da viele Individuallösungen und -situationen zu betrachten sind. Dennoch kann über gemeinschaftliche Aktionen ein „Hau-Ruck“ Effekt initiiert werden, der speziell in kleineren Ortsteilen gut ankommt und über das „Wir-Gefühl“ erfolgsversprechend ist.

- Sammelbestellungen und -dienstleistungen für Heizungsumwälzpumpen, PV-Anlagen, hydraulischem Abgleich, Solarthermie, Wärmepumpen, ...
- ortsteilbezogene Energieberatung und Öffentlichkeitsarbeit, z.B. gefördert durch die Gemeinde (Sanierungsmöglichkeiten und -förderungen, Energiespartipps, ...)
- bei größeren Siedlungen: geförderte Quartierssanierungskonzepte (KfW) denkbar
- Mitmachaktionen zusammen mit Kindern und Schülern: Energieeinsparwettbewerbe, Fahrgemeinschaften, .50/50 Konzepte auch im Haushalt, Tipps vom Nachbarn („Your neighbour does it better“), ...
- Gemeinschaftliche, gebäudeübergreifende Sanierungsarbeiten mit Kostendegression durch Mengeneffekte usw.

### Akteure:

Gemeinde Feldkirchen-Westerham, Bewohner kleiner Ortsteile, Landratsamt

### Kosten & Förderung:

- Kosten individuell je nach Umfang
- Förderung (Beispiele): Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG), Energetische Stadtsanierung - Zuschuss (KfW 432)

### Ablauf:

- 1) Analyse geeigneter Gebiete

<ul style="list-style-type: none"><li>2) Bedarfs- und Interessensabfrage in den Gebieten (z.B. über Gemeinde)</li><li>3) Analyse der Ist-Situation und Ableitung von Optimierungsvorschlägen<ul style="list-style-type: none"><li>○ Handlungsempfehlungen an Gebäude- oder Wohnungseigentümer weitergeben</li><li>○ Organisation von Sammelbestellungen zusammen mit ortsansässigen Firmen</li><li>○ Gemeinsame Sanierungskonzepte</li><li>○ Alternative Nahwärmelösungen</li></ul></li><li>4) Maßnahmen auswählen, umsetzen und öffentlichkeitswirksam darstellen</li></ul>
<b>Wirksamkeit:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Reduzierung des Energieverbrauchs und Treibhausgasemissionen</li><li>- Vorbildfunktion der Gemeinde</li><li>- Ansporn für andere kleine Siedlungen und Orte, eigene Konzepte zu entwickeln</li></ul>
<b>Herausforderungen:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Beteiligungswille der Gebäude- oder Wohnungseigentümer</li><li>- Hoher Aufwand und individuelle Konzepte</li><li>- Ressourcen der Gemeinde (Personal, Finanzen)</li></ul>

<h2 style="text-align: center;">Effiziente Wärmeversorgung über Wärmepumpen</h2>	Feldkirchen- Westerham	 Erneuerbare
<b>Zielsetzung:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung,</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Einsparung</li> </ul>		
<b>Beschreibung:</b>		
<p>Im privaten Wohnungsbau ist der spezifische Wärmebedarf in kWh/(m<sup>2</sup>·a) in den letzten Jahren drastisch reduziert worden. Nahwärmenetze sind aufgrund der geringen Wärmebedarfsdichten in Neubausiedlungen kaum noch wirtschaftlich umsetzbar. Für solche Siedlungen eignen sich vor allem Wärmepumpen und Solarthermieanlagen. Beide Technologien sind sowohl klimaschonend als auch meist wirtschaftlich. Bei Wärmepumpen wird zwischen Luft-, Wasser- und Sole-Wärmepumpen unterscheiden. Alle drei Typen verfügen über spezifische Vor- und Nachteile, die im Folgenden beschrieben werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Luft-Wärmepumpe</b>            Die Luftwärmepumpe ist in der Anschaffung deutlich günstiger als die beiden anderen Typen. Es ist lediglich eine Außen- und eine Inneneinheit zu installieren. Als Wärmeträgermedium wird Luft angesaugt. Da Luft zum einen starken Temperaturschwankungen unterliegt und zum anderen über eine geringe spezifische Wärmekapazität (1,005 kJ/(kg·K)) verfügt, ist der Wirkungsgrad (COP) deutlich schlechter als bei den anderen Wärmepumpentypen. Dadurch liegen der Stromverbrauch und somit die variablen Kosten deutlich über denen der anderen Typen. Luftwärmepumpen sind dennoch evtl. im Anwendungsgebiet Einfamilienhaus wirtschaftlich den anderen Technologien überlegen, da die geringeren Investitionskosten den Nachteil der höheren Betriebskosten meist überwiegen. Aus energetischer Sicht ist auf jeden Fall ein hoher COP-Wert anzustreben.</li>   <li>- <b>Wasser-Wärmepumpe</b>            Wasserwärmepumpen nutzen die einigermaßen konstante Temperatur des Grundwassers als Wärmequelle. Im Sommer liegt die Grundwassertemperatur meist unter der Außentemperatur der Luft. Im Winter hingegen liegt die Grundwassertemperatur deutlich über Lufttemperatur. Zudem verfügt das Wasser über eine deutlich höhere spezifische Wärmekapazität von 4,182 kJ/(kg·K). Der COP von Wasser-Wärmepumpen kann dadurch gegenüber der Luft-Wärmepumpe deutlich höher liegen. Größere Gebäude mit Flächenheizungen eignen sich somit hervorragend für den Einsatz von Wasser-</li> </ul>		

Wärmepumpen, da die höheren Investitionskosten durch die deutlich geringeren variablen Kosten schnell ausgeglichen werden.

#### - **Sole-Wärmepumpe**

Die Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdwärmepumpe) nutzt die Wärmeenergie des Bodens. Entweder wird durch die Sonden diese Wärme aufgenommen, die 50 m bis 200 m tief in das Erdreich gebohrt werden oder von Erdkollektoren, die auf einer größeren Fläche, dafür aber flach unter der Erde verteilt sind. Die Kollektoren liegen in etwa 1,2 m Tiefe im Erdboden, damit sie im Winter nicht einfrieren. Im Boden herrschen Temperaturen von - 5 °C bis 25 °C je nach Tiefe und Jahreszeit. Es sollte hierbei beachtet werden, dass für die Bohrungen der Erdsonden Mehrkosten entstehen.

#### **Kühlen mit Erdwärme**

Gebäudekühlung spielt eine immer größer werdende Rolle. Mit geringem Mehraufwand bieten Sole-Wärmepumpen diese Möglichkeit. Hierfür wird das niedrige Temperaturniveau in der Erdsonde nicht mit einer Wärmepumpe auf höherem Niveau gebracht, sondern über einem Wärmetauscher benutzt um das Wasser im Heizkreislauf abzukühlen. Die Wärme aus dem Heizkreislauf hilft zudem mit der Regeneration der Erdsonde. Diese Form von Raumklimatisierung funktioniert ausschließlich mit Flächenheizungssysteme. Wird eine höhere Kühlleistung benötigt, so kann dies über aktive Kühlung gelöst werden. Bei der aktiven Kühlung wird die Wärmepumpe als Kältemaschine verwendet, in dem der Prozess der Wärmepumpe umgekehrt wird. Bei der aktiven Kühlung wird jedoch, wie beim Heizbetrieb mit der Wärmepumpe, Strom verbraucht. Dadurch ist diese Form der Kühlung generell nur bei Gebäuden mit hohem Kühlbedarf rentabel.

Die Gemeinde Feldkirchen-Westerham bietet gemäß EnergieAtlas Bayern und UmweltAtlas Bayern teils sehr gute Bedingungen für die Nutzung von Wärmepumpen.

#### **Akteure:**

- Gemeinde, Akteure, Anwohner, Nachbargemeinden
- Speziell interessant in Gebieten mit hohem Grundwasserstand bzw. guter aktueller Erschließung mit Wärmepumpen

#### **Kosten:**

Investitionskosten:

- Luft-Wärmepumpe: ca. 8.000 - 16.000 € je nach Leistung
- Wasser-Wärmepumpe: ca. 25.000 - 50.000 €
  - Grundwassererschließung: ca. 7.000 - 12.000 €
  - Anschaffung der Wärmepumpe: ca. 12.000 - 18.000 €
  - Kosten für Einbau: 3.000 - 6.000 €

<ul style="list-style-type: none"><li>• Sonstiges Zubehör: bis zu 3.000 €</li></ul> <p>– Sole-Wärmepumpe: ca.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Erschließung: 6.000-12.000 €</li><li>• Anschaffung Wärmepumpe: ca. 12.000 - 18.000 €</li><li>• Einbaukosten: ca. 3.000 €</li><li>• Sonstiges Zubehör: ca. 1.000 €</li></ul>
<b>Ablauf:</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Neubaugebiete ausweisen</li><li>2) Zentral ermitteln, ob Gebiet für Erdwärmesonden geeignet ist</li><li>3) Heiztechnik in Bauleitplanung vorschreiben, oder finanzielle Anreize dafür gewähren</li><li>4) Baubeginn</li></ol>
<b>Wirksamkeit:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Deutliche Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung</li><li>- Eventuell Verringerung der Heizkosten</li><li>- Möglichkeit der Gebäudekühlung</li><li>- Hohe CO<sub>2</sub>-Einsparungen</li></ul>
<b>Herausforderungen:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Pflichten für entsprechende Heizsysteme in Bauleitplanung integrieren</li><li>- Maßnahme positiv vermarkten</li></ul>

<p>Zweite Windenergieanlage im Riedholz, Flurstück 1699 / 1741</p>	<p>Feldkirchen- Westerham</p>	 <p>Erneuerbare</p>
<p><b>Zielsetzung:</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steigerung des Anteils an erneuerbarem Strom</li> <li>- CO2-Einsparung</li> </ul>		
<p><b>Beschreibung:</b></p>		
<p>Die Windenergie ist eines der meist diskutierten Themen im Zuge der Energiewende. Seit Juni 2023 wurde festgelegt, dass in Wäldern, nahe Gewerbegebieten, an Autobahnen, Bahntrassen und Wind-Vorbehaltsgebieten der Abstand der Windräder zur Wohnbebauung lediglich 1000 Meter betragen muss. In Wind-Vorranggebieten wird dieser Abstand weiter verringert auf rund 800 Meter zu Wohnbebauung. Im Riedholz laufen bereits Planungsarbeiten für die erste Windenergieanlage in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham. Auf Wunsch des Auftraggebers wird hier die Möglichkeit einer zweiten Anlage im Riedholz, auf dem Flurstück 1699 geprüft. Das Flurstück 1699 erreicht jedoch erst im äußersten nördlichen Bereich einen 1.000 m Abstand zu Oberaufham. Die 1000 m sind notwendig, da das Flurstück komplett außerhalb vom Vorbehaltsgebiet liegt. Eine Alternative stellt das Flurstück 1741 dar. Dieses Flurstück befindet sich im Vorbehaltsgebiet. Zur bereits geplanten Anlage wird einen Abstand von 500 - 600 m geschaffen. Bei einem Rotordurchmesser von 100 m ist der Abstand zwischen den beiden Windrädern in Hauptwindrichtung somit ausreichend hoch. Wie groß der Rotordurchmesser der Anlage ausfällt, ist vom Anlagentyp abhängig. Wird die Anlage trotzdem im südlichen Bereich des Flurstücks 1699 gebaut, so ist der Windschatteneffekt der westlichen Anlage auf die östliche vermutlich noch geringer. Dadurch können Anlagen mit größeren Rotordurchmesser errichtet werden.</p> <p>Aufgrund der geringen Entfernung können die Ergebnisse der Voruntersuchungen des ersten Windrades relativ gut für den zweiten Standort genutzt werden. Ein vergleichbarer Windertrag von etwa 8-9 GWh/a gemäß Voruntersuchungen kann somit als realistisch gesehen werden. Zusammen mit dem ersten Windrad können somit etwa 16 - 18 GWh/a erneuerbaren Strom erzeugt werden. Aktuell werden in der Gemeinde noch ca. 40 GWh/a nicht erneuerbare, elektrische Energie (konventioneller Mix) benötigt. Der Ausbau von 2 Windrädern könnte dies um bis zu 45% reduzieren (etwa 22,5% pro Windrad).</p>		
<p><b>Gemeinde &amp; Akteure:</b></p>		
<p>Gemeinde Feldkirchen-Westerham, Bürgerwind Riedholz GmbH, Akteure, Anwohner, ggf. Nachbargemeinden</p>		
<p><b>Kosten &amp; Förderung:</b></p>		
<p>Aufwendungen:</p>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten für Windenergieanlagen liegen etwa zwischen 800 - 1.000 €/kW</li> <li>- Zusätzlich u.U. Pachtkosten, Wartung, Versicherung, usw.</li> </ul> <p>Einnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Höchstwert für Strom aus Windenergieanlagen an Land im Sinne des EEG beträgt im Jahr 2023 5,88 Cent pro Kilowattstunde</li> <li>- Mit den prognostizierten Erträgen von 8.000.000 kWh/a ergeben sich Einnahmen von bis zu 470.400 €/a pro Windrad</li> </ul> <p>Förderung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): „Bürgerenergiegesellschaften“ bei Windenergie an Land. Die Höhe des Zuschusses beträgt 70 Prozent der förderfähigen Kosten und ist auf maximal EUR 200.000 begrenzt.</li> </ul>
<p><b>Ablauf:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zusammenarbeit mit Landkreis und Nachbargemeinden beginnen / fortsetzen</li> <li>2. Frühzeitig öffentliche Informationsveranstaltungen zu den Möglichkeiten der Windenergie und der Bürgerbeteiligung</li> <li>3. Anwohner und Gegner direkt kontaktieren und in den Arbeitsprozess einbeziehen</li> <li>4. Flächen rechtlich sichern, geeignete Partner finden. Bürgergenossenschaft wurde bereits gegründet (Bürgerwind Riedholz GmbH)</li> <li>5. Machbarkeitsstudie und Ertragsabschätzung an den Standorten durchführen lassen</li> <li>6. Bei positiven Ergebnissen Bau der Anlage(n)</li> </ol>
<p><b>Wirksamkeit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deutliche Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Strom</li> <li>- Möglichkeit, die BürgerInnen auch finanziell am Ausbau der erneuerbaren Energien zu beteiligen</li> </ul>
<p><b>Herausforderungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rechtzeitige Sicherung von potenziellen Standorten durch Pachtverträge, evtl. auch durch die Gemeinde</li> <li>- Offene, transparente und bürgernahe Vorgehensweise schafft Vertrauen</li> <li>- Möglichst breite Bürgerbeteiligung bei Standortsicherung und späterer Beteiligung</li> <li>- Bevölkerung und vor allem Anwohner frühzeitig einbinden, um Akzeptanz zu sichern</li> </ul>

<h2 style="margin: 0;">Errichtung von Agri-PV Anlagen</h2>	Feldkirchen- Westerham	 Erneuerbare
<b>Zielsetzung:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steigerung des Anteils an erneuerbarem Strom</li> <li>- CO2-Einsparung</li> <li>- Effiziente Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen</li> </ul>		
<b>Beschreibung:</b>		
<p>Die Gemeinde Feldkirchen-Westerham besteht zu etwa 47% aus landwirtschaftlicher Nutzfläche. Um die landwirtschaftliche Nutzung nicht zu stark zu beeinträchtigen wie bei üblichen FFPV-Anlagen, können diese Flächen für Agri-PV-Anlagen benutzt werden. Agri-PV Anlagen ermöglichen eine gleichzeitige Nutzung der Fläche für Landwirtschaft und Stromerzeugung. Agri-PV Anlagen gibt es zurzeit hauptsächlich in drei verschiedenen Modellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoch aufgeständerte Agri-PV-Anlagen</li> <li>- Vertikale Agri-PV-Anlagen</li> <li>- Nachgeführte Agri-PV-Anlagen</li> </ul> <p>Jede Variante hat Vor- und Nachteile, die individuell zu beurteilen sind, sowie Formen von Flächenbenutzung die besser oder schlechter zu der Variante passen. So ergeben z.B. vertikale Agri-PV-Anlagen bei Schneelage sehr gute Werte, sind jedoch nur geeignet für sehr niedrigen Kulturen. In jeder Form eignen sich Agri-PV-Anlagen vor allem gut bei Weidebetrieb. Sehr hohe Potentiale ergeben sich auch bei der Kombination von Agri-PV mit Wein-, Obst- und Gemüsebau. Dahingegen eignet sich Mais eher nicht für eine Kombination mit Agri-PV.</p> <p>Durch Agri-PV können sehr hohe Landnutzungsraten (Flächeneffizienz) erzielt werden. Zum Beispiel können statt 100% landwirtschaftlicher oder Strombetrieb Landnutzungsraten von 130% erzielt werden mit einer Kombination von landwirtschaftlichem Betrieb (z.B. 85%) und Solarbetrieb (z.B. 45%). So können bei hoch aufgeständerten Agri-PV Anlagen Landnutzungsraten bis zu fast 190% erzielt werden.</p> <p>Biodiversitätsfördernde Agri-PV-Anlagen mit breitem besonntem Streifen und Wasserdurchlässigkeit zwischen den Modulen fördern zudem aufgrund ihrer angepassten Bauweise nachweislich die Biodiversität.</p> <p>Aufgrund der Fördermöglichkeit im Bahnkorridor können Flächen in diesem Korridor priorisiert werden. Die Fläche südlich der Bahnlinie beim Ortsteil Hammer, sowie die Fläche nordöstlich der Kläranlage eignen sich besonders gut, da sie für die Bestandsbebauung kein Störfaktor darstellen. Die Flächen am westlichen Gemeinderand direkt an der Bahnlinie stellen ebenfalls sehr gute</p>		

Möglichkeiten dar. Die Flächen zwischen Feldkirchen und Westerham sind zwar gut geeignet, können aber aufgrund der Nähe zur Wohnbebauung auf Widerstand stoßen.
<b>Gemeinde &amp; Akteure:</b>
Gemeinde Feldkirchen-Westerham, Grundstückseigentümer / -bewirtschafter, Akteure, Anwohner
<b>Kosten &amp; Förderung:</b>
<p>Aufwendungen:</p> <p>Die Gesamtkosten der Agri-PV-Anlagen (inkl. Module, Gestelle, Planung, Erschließung etc.) stellen sich folgendermaßen dar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertikal aufgeständerte Agri-PV-Anlage: ca. 688 €/kWp</li> <li>- Hoch aufgeständerte Agri-PV-Anlage: ca. 859 - 1.234 €/kWp</li> <li>- Nachgeführte Agri-PV-Anlagen: ca. 850 €/kWp</li> </ul> <p>Einnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Höchstwert für Strom aus Solaranlagen &gt; 1.001 kWp im Sinne des EEG beträgt im Jahr 2023 7,37 Cent pro Kilowattstunde</li> <li>- Mit mehrere Agri-PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von z.B. 5.000 kWp und berechneten Erträgen von 5.000.000 kWh/a (je nach Anlagentyp) ergeben sich Einnahmen von bis zu 368.500€/a (ohne Abschreibung, Betriebskosten etc.).</li> </ul> <p>Förderung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Förderungsgelder (Einspeisevergütungen) sind nur innerhalb der Flächenkulissen, festgelegt durch das EEG, möglich.</li> </ul>
<b>Ablauf:</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Zusammenarbeit mit Grundstückseigentümer / Landwirte beginnen</li> <li>2) Frühzeitig öffentliche Informationsveranstaltungen zu den Möglichkeiten der Solarenergie und der Bürgerbeteiligung</li> <li>3) Anwohner und Gegner direkt kontaktieren und in den Arbeitsprozess einbeziehen</li> <li>4) Flächen rechtlich sichern, geeignete Partner finden, Pachtverträge aufstellen</li> <li>5) Machbarkeitsstudie und Ertragsabschätzung an den Standorten durchführen lassen</li> <li>6) Bei positiven Ergebnissen Bau der Anlage(n)</li> </ol>
<b>Wirksamkeit:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deutliche Erhöhung des Anteils an erneuerbarem Strom</li> <li>- Möglichkeit, Die BürgerInnen auch finanziell am Ausbau der erneuerbaren Energien zu beteiligen</li> </ul>
<b>Herausforderungen:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geeignete Standortsuche je nach Anlagentyp und Kulturen</li> <li>- Rechtzeitige Sicherung von potenziellen Standorten durch Pachtverträge, evtl. auch durch die Gemeinde</li> </ul>

- Offene, transparente und bürgernahe Vorgehensweise schafft Vertrauen
- Möglichst breite Bürgerbeteiligung bei Standortsicherung und späterer Beteiligung
- Bevölkerung und vor allem Anwohner frühzeitig einbinden, um Akzeptanz zu sichern

**Weitere Informationen**

*Agri-Photovoltaik - Stand und offene Fragen.* 05.2021. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ).

*Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende.* 04.2022. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

*Unternehmensinitiative "Biodiversitätsfördernde Agri-PV" PV-Freifläche im Einklang mit nachhaltiger Landwirtschaft und Biodiversität .* 13.07.2023

<p style="text-align: center;">Solare Nahwärme und Langzeitwärmespeicher in Neubausiedlungen</p>	Feldkirchen- Westerham	 Erneuerbare
<p><b>Zielsetzung:</b></p>		
<p>Erhöhung des Anteils der Solarthermie am Wärmebedarf aufgrund des hohen Potenzials dieser Energieform</p>		
<p><b>Beschreibung:</b></p>		
<p>Nahwärmenetze lassen sich durch die Einbindung einer solarthermischen Großanlage ergänzen (Solare Nahwärmesysteme). Die Einbindung der Wärme aus den solarthermischen Kollektorfeldern dient der Heizungs- und Brauchwarmwasserunterstützung und kann durch einen thermischen Langzeitspeicher ergänzt werden. Dieser hilft, die Wärmeüberschüsse im Sommer bis in die Heizperiode zu konservieren. Dadurch können solare Deckungsanteile von über 30 % am Gesamtwärmebedarf erreicht werden, was in erster Linie den Verbrauch der Heizmittel des Netzes (Hackschnitzel, Gas, Heizöl, ...) reduziert. Der Vorteil hierbei liegt nicht zuletzt im hohen Wirkungsgrad der solarthermischen Kollektoren, da bei Anlagen dieser Art in Verbindung mit Langzeitwärmespeichern mit einem Solarertrag von 500 kWh/(m<sup>2</sup>*a) und damit einem Wirkungsgrad von rund 50 % gerechnet werden kann.</p> <p>Ein Ansatz wäre die Einbindung der Solarthermie-Einzelanlagen in Nahwärmenetzen, um damit vor allem die sommerlichen Verluste durch den geringen Wärmebedarf abzufangen. Diese Technik könnte die Diskrepanz zwischen Eigenheim-Solarthermie und Nahwärme etwas entschärfen sowie zur effektiveren Nutzung der unterschiedlichen erneuerbaren Ressourcen beitragen.</p> <p>Generell kann dieser Ansatz auf bestehende Nahwärmenetze oder auf neu geplante Siedlungen übertragen werden. Speziell bei Neubauten lässt sich in Kombination mit energiesparender solarer Bauweise der Anteil der Solarthermie am Wärme- und Brauchwasserbedarf deutlich erhöhen. Hier ist die Gemeinde gefordert, neue und vorhandene Bebauungspläne auch in Hinblick auf energetische Fragestellungen zu bewerten und energiesparende Bauweisen in Kombination mit erneuerbaren Energien zu fördern und zu fordern. Zum Beispiel sind die Freiflächen nördlich von Westerham für Solarthermische Großanlagen sehr gut geeignet. Zudem wird bei Großhöhenrain ggf. ein Neubaugebiet entstehen, was sich sehr gut für ein solar- gespeistes Wärmenetz eignet.</p>		
<p><b>Akteure:</b></p>		
<p>Gemeinderat, Verwaltung, Nahwärmenetzbetreiber, Fachplaner (siehe „Weitere Informationen“)</p>		

<p><b>Kosten:</b></p>
<p>Kosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kollektoren: ~ 300 – 750 €/m<sup>2</sup></li> <li>- Speicher: ~ 25 – 500 €/m<sup>3</sup>, je nach Speicherart. Weitere Infos im Schwerpunktprojekt</li> </ul> <p>Förderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)</li> <li>- Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)</li> <li>- Ggf. BioWärme Bayern</li> </ul>
<p><b>Ablauf:</b></p>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) geeignetes Netz bzw. geeignete Neubausiedlung ausfindig machen</li> <li>2) Grundlegende Entscheidung pro Solarthermie-Unterstützung</li> <li>3) Anfrage bezüglich potenzieller Dächer und Freiflächen für Kollektoren und Wärmespeicher</li> <li>4) Information der Öffentlichkeit über Vorhaben</li> <li>5) Machbarkeitsstudie (Fördermöglichkeiten prüfen)</li> <li>6) Weitere Planungen bei positivem Bescheid der Machbarkeitsstudie</li> </ol>
<p><b>Wirksamkeit:</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substituiert Transport und Verbrauch von Brennstoffen (Biomasse und Heizöl)</li> <li>- nutzt hohes solares Potenzial und hohe Wirkungsgrade der Solarthermie</li> <li>- keine Emissionen</li> <li>- keine Abhängigkeit von steigenden Brennstoffkosten</li> <li>- Vorbildfunktion für andere Nahwärmenetze und Einzelgebäude</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Einsparungen: bis zu ca. 0,1 t/(m<sup>2</sup>-Kollektorfläche* a) bei Ersatz von Heizöl</li> </ul>
<p><b>Herausforderungen:</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- verfügbare Flächen für Kollektoren und ggf. Langzeitwärmespeicher</li> <li>- Große Flächen für Solarkollektoren benötigt</li> <li>- Kosten</li> </ul>
<p><b>Weitere Informationen:</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bollin, E., Huber, K. &amp; Mangold, D. (2013): Solare Wärme für große Gebäude und Wohnsiedlungen. Fraunhofer Irb Verlag</li> </ul>

<p>Nutzung der Abwärme von bestehenden Biogas-BHKWs</p>	<p>Feldkirchen- Westerham</p>	 <p>Erneuerbare</p>
<p><b>Zielsetzung:</b></p>		
<p>Reduzierung der unbenutzten Wärme der lokalen Biogasanlagen</p>		
<p><b>Beschreibung:</b></p>		
<p>Eine Umfrage der Biogasanlagen in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham ergab die Information, dass bis zu 50% der in den KWK-Anlagen erzeugten Wärme über Notkühler entsorgt werden muss. Bei der größten Biogasanlage der Gemeinde, Bio Energie Moser GmbH &amp; Co. KG, werden somit 8,5 GWh an Wärme entsorgt. Nur mit der Wärme von dieser Anlage könnte eine große Menge an Gebäude mit Wärme versorgt werden.</p> <p>Die Komplexität liegt hier vor allem in der Entfernung der Biogasanlagen zu den größeren Ortsteilen der Gemeinde. Eine Entfernung von ca. 2 km zu dichterem Bebauung geht mit hohen Leitungsbaukosten und reduzierter Ineffizienz beim Wärmetransport aufgrund von Verlusten gepaart. Eine Fernwärmeleitung ab der Biogasanlage bis nach Feldkirchen wird sich vermutlich nicht als wirtschaftlich darstellen. Nicht destotrotz ergeben sich noch drei Möglichkeiten für die Benutzung des Biogases.</p> <p>Die erste Option stellt die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan (Erdgasqualität) dar, um nachfolgend das Gas in das Gasnetz einzuspeisen. Zurzeit wurde jedoch noch kein Gasnetz verlegt im Bereich der Biogasanlagen. Somit würden hier Kosten für den Netzausbau sowie Aufbereitungsanlagen anfallen.</p> <p>Die zweite Option stellt das Schaffen von Wärmeabnehmern dar. Dies kann durch Neubaugebiete geschaffen werden, aber auch durch z.B. Gewächshäuser. Im Fall von Neubaugebiete können somit Synergieeffekte genutzt werden, in dem bereits einen nachhaltigen Wärmeversorger vor Ort ist.</p> <p>Zuletzt kann anstelle einer Wärmeleitung das Gas mithilfe einer neuen Gasleitung zum Abnahmegebiet befördert werden und dort in einem BHKW zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Hier ist die Trasse aufgrund der Feuchte vom Biogas mit Gefälle zu verlegen, wo an den Tiefpunkten Kondensatsammler einzubauen sind.</p> <p>Zusätzlich ist es in diesen Fällen sinnvoll, die Biogasanlagen zu Speicherkraftwerken in Verbindung mit Wärmespeicher umzurüsten. So können die BHKWs bedarfsabhängig flexibel laufen.</p> <p>Zusätzlich kann durch die Nachverstromung (NV) der BHKW-Abwärme (z.B. über das ORC- und/oder SRC-Verfahren) der Wirkungsgrad erhöht werden, in dem die Abwärme effizienter für die Stromerzeugung benutzt wird ohne einer Steigerung des Substrateinsatzes. Der</p>		

Anschaffungswert von NV-Anlagen liegt je nach thermischer Eingangsleistung in die NV zwischen etwa €100.000 und €300.000.
<b>Akteure:</b>
Gemeinderat, Verwaltung, Landratsamt, Netzbetreiber, Anlagenbetreiber, Fachplaner, Bauamt etc.
<b>Ablauf:</b>
<p>Neubaugebiet inkl. Wärmenetz</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Information der Öffentlichkeit über Vorhaben</li> <li>2) Machbarkeitsstudie Neubaugebiet</li> <li>3) Weitere Planungen bei positivem Bescheid der Machbarkeitsstudie</li> <li>4) Bau des Neubaugebiets inkl. Wärmenetz</li> </ol> <p>Biogas Aufbereitung</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Klärung Ausbaubereitschaft Biogasanlagenbetreiber</li> <li>2) Machbarkeitsstudie und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Ausbau Gasnetz und Aufbereitungsanlagen</li> <li>3) Weitere Planungen und Umsetzungen bei positivem Bescheid der Machbarkeitsstudie und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</li> </ol>
<b>Wirksamkeit:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substituiert Transport und Verbrauch von Brennstoffen (z.B. Heizöl)</li> <li>- Nutzt bereits erzeugte Wärme die aktuell nicht benutzt wird</li> <li>- Vorbildfunktion für andere Wärmenetze und Biogasanlagen</li> </ul>
<b>Herausforderungen:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- verfügbare Flächen für Neubaugebiete</li> <li>- Kosten</li> <li>- Bereitschaft zur Investition der Anlagenbetreiber</li> </ul>
<b>Weitere Informationen:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Nachverstromung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen – EEG und Wirtschaftlichkeit.</i> 2019. Biogas Forum Bayern, C.A.R.M.E.N. e.V., Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Rosenheim</li> </ul>

## 7. Schwerpunktprojekt Arealversorgung

In diesem Kapitel wird technisch und wirtschaftlich geprüft, ob der Auf- bzw. Ausbau einer Wärmeverbundlösung in Kombination mit einem Stromnetz sinnvoll ist. Im Vergleich zu einer derzeitigen, dezentralen Energieversorgung kann auf diese Weise die Wirtschaftlichkeit und der Komfort gesteigert werden. Als Quartier für das Schwerpunktprojekt wurde das Wohngebiet nördlich des Bahnhofs Westerham in enger Abstimmung mit der Gemeinde Feldkirchen-Westerham ausgewählt (Abb. 29).



Abbildung 29: Übersicht des Schwerpunktprojektgebietes. Datenquelle Kartenhintergrund: OpenStreetMaps

In diesem Kapitel werden dazu technische Lösungen der Trassenführung mit unterschiedlichen Energieversorgungsvarianten entwickelt und bewertet. Technisch sinnvolle Varianten werden auf die Wirtschaftlichkeit geprüft in dem sie untereinander sowie zu dezentralen Varianten verglichen werden.

Das Projektgebiet umfasst 272 Gebäude. In Feldkirchen-Westerham befinden sich etwa 11% der Wohneinheiten in Mehrfamilienhäuser (MFH). Gemäß Geodaten gibt es etwa 247 Wohngebäude im Projektgebiet. Somit gibt es rechnerisch im Wohngebiet ca. 27 MFH. Bei 4 Wohneinheiten pro MFH

ergibt sich somit eine Gesamtzahl von ca. 328 Wohneinheiten im Projektgebiet. Bei 2,3 Einwohner pro Wohneinheit gibt es im Projektgebiet 754 Einwohner.

### Strombedarfsermittlung

Die meisten Energiefirmen rechnen pro Person mit einem Haushaltsstromverbrauch von ca. 1.000 kWh/a. Im Projektgebiet gibt es ca. 754 Einwohner, die somit insgesamt 754 MWh/a Strom verbrauchen. Daten der Stromnetzbetreiber zeigen für Wohngebäude in Feldkirchen-Westerham etwas höhere Verbrauchswerte pro Wohneinheit von 2.979 kWh/a. Dies ergibt ein Gesamtstromverbrauch von privaten Haushalten im Projektgebiet von 977 MWh/a. Die Stromverbräuche der größeren Gewerbe und kommunalen Liegenschaften wurden erhoben, und werden in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Übersicht der Stromverbräuche der Gewerbe und kommunalen Liegenschaften im Schwerpunktprojektgebiet

Gewerbe / Liegenschaft	Stromverbrauch 2022 (kWh)
Hagebaumarkt (Standortschließung 2024)	40.000
IHK Akademie	480.000
Rote Kreuz Rettungswache	Ca. 50.000, keine Rückmeldung erhalten
Freiwillige Feuerwehr	49.000
Schule	217.000
VWG Preisler GmbH	284.012
Tankbau Willberger	1.600
<b>Summe</b>	<b>1.121.612</b>

In Summe wird somit im Projektgebiet zwischen etwa 1,9 GWh/a und 2,1 GWh/a Strom verbraucht.

### Wärmebedarfsermittlung

Der Wärmebedarf der Wohngebäude wurde dem im Zuge dieses Konzeptes erzeugten Wärmekataster entnommen. Wärmeverbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften liegen vor. Verbrauchsdaten der vorhandenen Gewerbe wurden zum Großteil abgefragt. Die VWG Preisler GmbH kann aufgrund von sehr hohen Temperaturbedarfe nicht an einem Wärmenetz angeschlossen werden, und wird somit nicht weiter betrachtet. Im Projektgebiet wird somit insgesamt etwa 11.191.400 kWh/a Wärme verbraucht.

Table 19: Übersicht der Verbraucher und des Strom- und Wärmeverbrauchs im Projektgebiet.

Verbraucher	Anzahl Einheiten	Stromverbrauch pro Jahr (kWh)	Wärmeverbrauch pro Jahr (kWh)
Wohngebäude	247	977.000	7.974.740
Gewerbe	5	855.612	1.666.010
Kommunale Liegenschaften	4	266.000	1.235.000
Sonstige	16	-	293.848
<b>Summe</b>	<b>272</b>	<b>2.098.612</b>	<b>11.169.598</b>

Für die genaue Wärmebedarfs- und Leistungsermittlung im Projektgebiet wird zudem noch von einer Anschlussquote von 70% in den Kategorien Wohnbau und Sonstige, sowie einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,75 (homogenes Projektgebiet) ausgegangen. Nicht zuletzt wird von einer pauschale Wärmeverlustmenge im Wärmenetz von 12% ausgegangen. Für die benötigte Leistungsermittlung wurde von 1.800 Vollaststunden (VLS) im Jahr ausgegangen, außer bei der Schule (1.200 VLS) sowie bei der IHK (650 kW, im Telefonat übermittelt). Insgesamt muss somit etwa 9,7 GWh/a Wärme von den Erzeugern ins Netz eingespeist werden.

### Bestandsnetz

Im nordöstlichen Projektgebiet, im Bereich der Schule, besteht bereits ein Nahwärmenetz. Dieses Netz wird von einer Hackschnitzelanlage und, zur Spitzenlastdeckung und als Redundanzanlage, einem Gaskessel betrieben.

- Typ/Hersteller: KÖB & Schäfer GmbH, PYROT 300
- Thermische Leistung der Biomasseanlage(n): 300 kW
- Thermische Leistung Gaskessel: 378 kW

- Jahr der Inbetriebnahme: 2007
- VL 90°C / RL 60°C
- Hackschnitzelverbrauch 2019 ca. 1.067 SRm
- Spitzenlast Gasverbrauch 2019 ca. 31.458 m<sup>3</sup>

### Jahresdauerlinie

Eine Jahresdauerlinie (JDL) Wärme wurde anhand von STANET® Daten, basiert auf einer Studie der Technischen Universität München aus dem Jahr 2003, sowie Wärmeverbrauchsdaten der einzelnen Objekte angefertigt<sup>22</sup>. Anhand dieser JDL werden nachfolgende Wärmelösungen definiert.

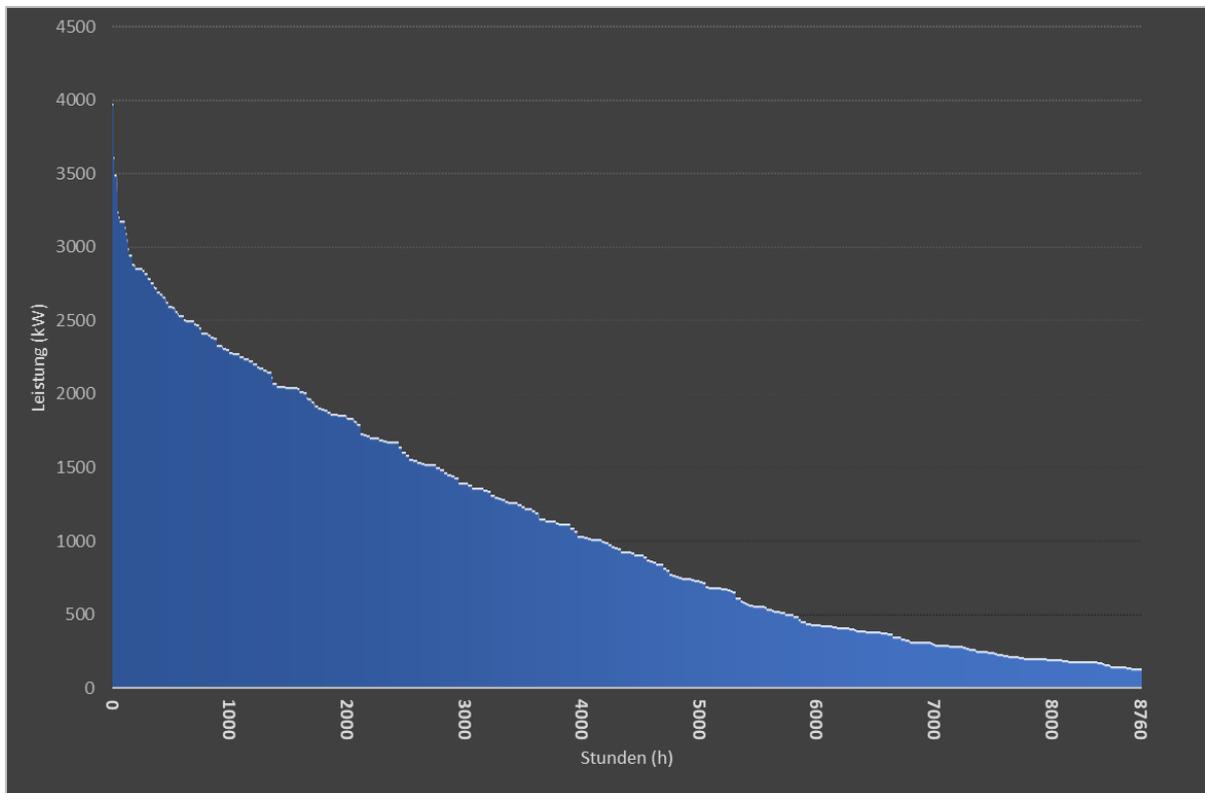


Abbildung 30: Jahresdauerlinie des Wärmeverbrauchs im Schwerpunktprojektgebiet.

Der Stromverbrauch variiert stark innerhalb eines Tages, jedoch sind saisonale Schwankungen im Stromverbrauch im Vergleich zu Wärme gering.

<sup>22</sup> Hellwig, M. (2003). *Entwicklung und anwendung parametrisierter standard-lastprofile* (Doctoral dissertation, Technische Universität München).

## 7.1 Technische Dimensionierung einer Arealnetzlösung

In diesem Kapitel werden zuerst verschiedene Varianten der Energieerzeugungs- und -versorgungsanlagen für das Arealnetz dargestellt.

Tabelle 20: Übersicht der 4 Varianten der Energieversorgung des Schwerpunktprojektgebietes

Variante	Namen	Beschreibung
1	Biomethan BHKW	Große BHKW-Anlagen (Biomethan) mit einem Wärmespeicher
2	Solarthermie	50 % Solarer Deckungsgrad mit Saisonalwärmespeicher
3	Erdsonden	Großes Erdsondenfeld mit Solarthermie für die Regeneration
4	Grundwasser	Große Grundwasserwärmepumpe mit Unterstützung durch Biomethankessel

### 7.1.1 Variante 1: Biomethan BHKW

Die erste Variante wird hauptsächlich mit zwei oder mehr BHKW-Anlagen betrieben. In der Gemeinde Feldkirchen-Westerham gibt es verschiedene Biogasanlagen, die nur einen Teil Ihrer Wärme benutzen. Eine Aufbereitungsanlage ist für diese Biogasanlagen gedacht, um aus Biogas Biomethan in Erdgasqualität herzustellen. Dieses Biomethan darf dann in das Gasnetz eingespeist werden. Alternativ können auch Verträge mit Biomethanbetrieben außerhalb des Gemeindegebietes geschlossen werden. Bei den Biomethanbetrieben kann die benötigte Menge an Biomethan eingekauft werden. Das BHKW wird somit bilanziell mit Biomethan betrieben.

Die BHKWs sind flexibel zu gestalten und zu betreiben. In Verbindung mit Wärmespeicher sind hohe Vollbelastungstunden für BHKWs nicht mehr notwendig. Somit können BHKW-Anlagen mit höherer Leistung und weniger Betriebsstunden eingesetzt werden, um ein Einsatz von z.B. Gaskessel zu vermeiden. Im Gegensatz zu den üblichen Saisonalwärmespeicher, die hauptsächlich Wärme der Sommerperioden bis in den Wintermonaten speichern, können in diesem Szenario Wärmespeicher eingesetzt werden, die sowohl im Sommer als auch im Winter bei ausgeschalteter BHKW-Anlage die Wärmeversorgung decken.

Für die Stromversorgung sind Stromspeicher einzusetzen, wodurch die BHKW-Anlagen auch zwecks Stromerzeugung flexibel betrieben werden können. Aufgrund des dauerhaften Strombedarfs und des Mangels an saisonalen Stromspeichern müssen nicht unbedingt Saisonalwärmespeicher eingesetzt werden. So können in diesem Szenario auch Wärmespeicher eingesetzt werden, die nur einige Tage bis wenige Wochen genutzt werden.

Die BHKWs können somit sowohl strom- als auch wärmegeführt betrieben werden, in Abhängigkeit davon welcher Bedarf zurzeit vorhanden oder höher ist. Die BHKW- und Speicherdimensionierung

ist abhängig von den Betriebszeiten der BHKW-Anlage. Werden die BHKWs länger in Betrieb gehalten, so ist eine geringere Speicherdimensionierung erforderlich. Alternativ kann der Wärmespeicher größer dimensioniert werden und die BHKWs weniger in Betrieb genommen werden. Diese Bedingungen gelten nur innerhalb bestimmten Größenordnungen, so kann z.B. einen zu großen Wärmespeicher nicht aufgewärmt werden, wenn die BHKWs nicht genug Wärme produzieren aufgrund geringer Arbeitszeiten. Um die ungefähre Balance zu berechnen, wurde das Programm NPro<sup>23</sup> genutzt.

Wird die Hackschnitzelanlage berücksichtigt und wird ein Saisonalspeicher gebaut, so können die Anlagen folgendermaßen dimensioniert und betrieben werden:

Tabelle 21: Anlagendimensionierung Variante 1 bei Berücksichtigung der Hackschnitzelanlage sowie die Auslegung des Wärmespeichers als Saisonalspeicher.

Anlage	Leistung / Volumen	Wärmeerzeugung / Speicherkapazität	Volllaststunden / Vollladezyklen
BHKW	2.218 MW <sub>th</sub>	9.914 MWh	4.470
Biomassekessel	300 kW <sub>th</sub>	67 MWh	224
Wärmespeicher (Saisonal)	1.480 m <sup>3</sup>	34.374 kWh	6

Wird der Wärmespeicher nicht als Saisonalspeicher ausgelegt, so kann der Betrieb folgendermaßen aufgebaut werden:

Tabelle 22: Anlagendimensionierung Variante 1 bei Berücksichtigung der Hackschnitzelanlage sowie die Auslegung des Wärmespeichers als Pufferspeicher.

Anlage	Leistung / Volumen	Wärmeerzeugung / Speicherkapazität	Volllaststunden / Vollladezyklen
BHKW	2.663 MW <sub>th</sub>	9.939 MWh	3.732
Biomassekessel	300 kW <sub>th</sub>	30 MWh	99
Wärmespeicher	120 m <sup>3</sup>	2.788 kWh	8

Aus beiden Szenarien wird klar, dass der Biomassenkessel nur sehr wenig eingesetzt wird. Wenn die Hackschnitzelanlage nicht eingesetzt wird, kann es folgendermaßen dimensioniert werden:

<sup>23</sup> nPro - District Energy Planning Tool. Available online: <https://www.npro.energy>

Tabelle 23: Anlagendimensionierung Variante 1 ohne Hackschnitzelanlage sowie die Auslegung des Wärmespeichers als Saisonspeicher.

Anlage	Leistung / Volumen	Wärmeerzeugung / Speicherkapazität	Volllaststunden / Vollladezyklen
BHKW	2.518 MW <sub>th</sub>	9.977 MWh	3.962
Wärmespeicher (saisonal)	1.480 m <sup>3</sup>	34.374 kWh	3

Das Programm NPro bevorzugt jedoch kleinere Speicher nur für die winterliche Spitzenlastabdeckung. Die Dimensionierung des Wärmespeichers ist sehr komplex, und abhängig von den Betriebszeiten und Wünschen des Betreibers. Sollen z.B. Wochenendruhen eingebaut werden, so muss der Wärmespeicher in der Lage sein, das ganze Wochenende die Wärme bereit zu stellen. Der Wärmespeicher kann auch so dimensioniert werden, dass der lediglich für die Tageszeiten, in denen die BHKWs nicht angeschaltet sind, die Wärmeversorgung übernimmt. Wird der Wärmespeicher zur Wochenendüberbrückung angelegt, so muss der Wärmespeicher in den Wintermonaten bis ca. 130 MWh an Wärme liefern können. Bei einer Wärmespeicherkapazität von 70 kWh/m<sup>3</sup> muss somit fast 1.900 m<sup>3</sup> Wärmespeicher gebaut werden. Wird die Anlage lediglich zur Halbtages- und ggf. Wartungsüberbrückung dimensioniert, so ist eine Speichergröße von ca. 450 m<sup>3</sup> vermutlich ausreichend. In den Sommermonaten kann dies noch geringer ausfallen, jedoch kann hier je nach Strombedarf auch mehr mit dem Speicher abgedeckt werden.

Zusammenfassend aus den Berechnungen wird eine BHKW-Anlage von ca. 2,5 MW<sub>th</sub> Leistung mit ca. 4300 Volllaststunden, und einen Wärmespeicher von 450 m<sup>3</sup> benötigt. In der Abbildung 31 wird diese Situation vereinfacht in der JDL dargestellt.

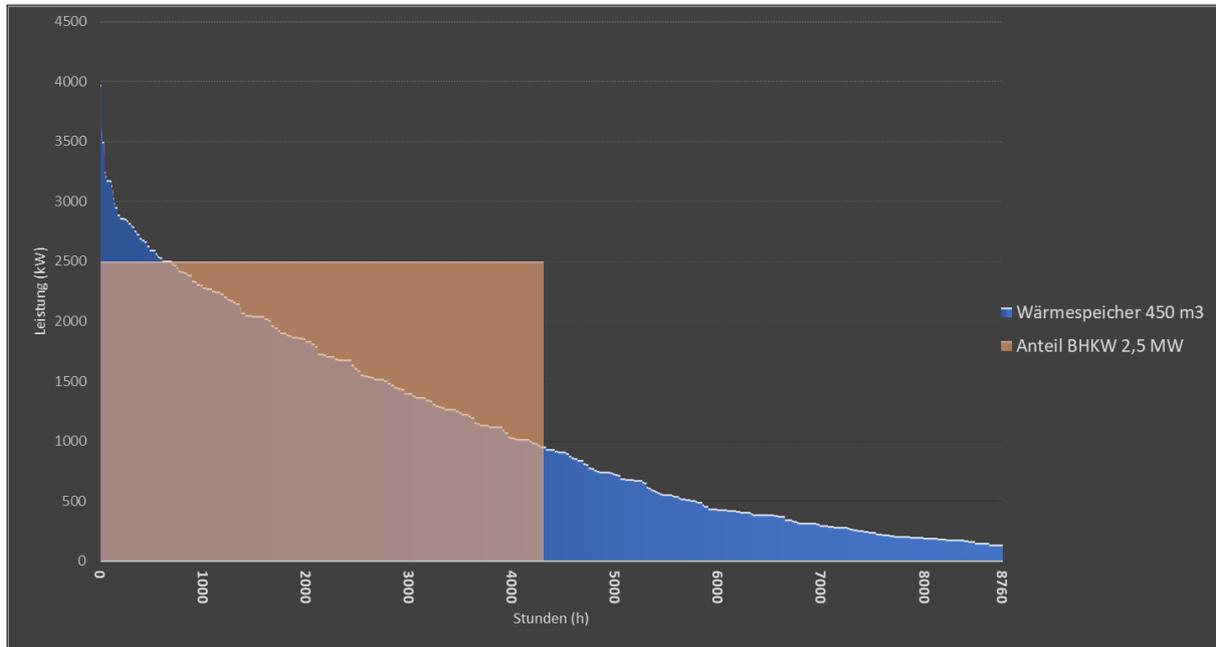


Abbildung 31: Vereinfachte Darstellung der Variante 1

Es können mehrere BHKW-Anlagen errichtet werden. So kann z.B. entschieden werden, 3 Anlagen mit jeweils ca. 625 kW zu betreiben, oder 2 Anlagen mit ca. 1.250 kW. Mit mehreren Anlagen kann die Wärme- und Stromversorgung flexibler gestaltet werden, in dem z.B. nur ein Teil der Anlagen angeschaltet wird. Zudem ist das gesamte System weniger anfällig für Störungen und Ausfälle.

Der Strombedarf ist jedoch nicht annähernd so hoch wie der Wärmebedarf. So kann der 378 kW Gaskessel im Bestand eingesetzt werden, um ein kleinerer Motor der BHKW-Motoren zu ersetzen. Somit sind dann noch 2.150 kW durch die BHKW-Anlagen zu decken.

Da die BHKW-Anlagen vor allem im Sommer nicht den ganzen Tag laufen und der Wärmebedarf in den Auszeiten durch den Wärmespeicher gedeckt wird, sind Stromspeicher notwendig. Auch hier wird angenommen, dass etwa ein halber Tag ohne Versorgung notwendig sein muss. So muss der Stromspeicher etwa 2.74 MWh Strom speichern können.

Zusammenfassend stellt sich die Variante 1 folgendermaßen dar:

Tabelle 24: Anlagendimensionierung Variante 1

Anlage	Leistung / Volumen
BHKW (2 - 3 Anlagen)	2.15 MW <sub>th</sub>
Gaskessel (Bestand)	378 kW <sub>th</sub>
Wärmespeicher	450 m <sup>3</sup>
Stromspeicher	2,74 MWh

Die bestehende Hackschnitzelanlage kann entweder zur Unterstützung, ggf. bei einer Leistungsreduzierung einer BHKW-Anlage, weiterbetrieben werden oder aufgehoben und verkauft werden.

Eine Rückmeldung vom Bayernwerk AG zur Umsetzbarkeit einer Arealversorgung kam erst mehrere Wochen nach Anfrage. Zu diesem Zeitpunkt musste aus Zeitgründen bereits mit Planungsarbeiten zum ausgewählten Projektgebiet angefangen werden. Die Rückmeldung der Bayernwerk AG ergab jedoch, dass sich für dieses Areal sehr hohe Kosten ergeben bei der Netztrennung (ca. 1 Mio €). Nach Wunsch des AGs werden somit die weiteren Varianten ohne Stromversorgung und somit nur mit Blick auf eine Wärmeversorgung entwickelt.

### 7.1.2 Variante 2: Solarthermie

Die zweite Variante hat als Ziel, einen solaren Deckungsgrad von 50% zu erreichen. Es wurden Daten aus dem Energieatlas Bayern zu der monatlichen Globalstrahlung in kWh/m<sup>2</sup> im Projektgebiet genutzt, um die pro Monat erzeugten Wärmemengen zu berechnen. Im Projektgebiet muss insgesamt ca. 9,7 GWh Wärme pro Jahr erzeugt werden. Bei einem solaren Deckungsgrad von 50 %, und Wärmeverluste im Solarnetzsystem sowie im Wärmespeicher von etwa 20%<sup>24</sup>, müssten somit ca. 5,82 GWh Wärme im Jahr durch Solarthermie erzeugt werden. Wie bereits in den vergangenen Kapiteln erwähnt, können Werte von ca. 500 kWh/m<sup>2</sup> Kollektorfläche, oder 200 kWh/m<sup>2</sup> Grundstücksfläche für die Berechnung genutzt werden. Somit wären für die Erzeugung von 5,82 GWh Wärme über Solarthermie ca. 11.640 m<sup>2</sup> Kollektorfläche oder etwa 29.100 m<sup>2</sup> Grundstücksfläche erforderlich. Da ein Großteil der Wärme im Sommer produziert wird, und erst im Winter gebraucht wird, muss ein Saisonalwärmespeicher gebaut werden. In einer dena-Studie zu Quartiersversorgungen und den damit verbundenen Wärmespeichern werden Dimensionierungen

<sup>24</sup> *Technisch-wirtschaftliche Analyse und Weiterentwicklung der solaren Langzeit-Wärmespeicherung*. 2012, Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

von verschiedenen Saisonalwärmespeichertypen erwähnt<sup>25</sup>. Bei diesen Mengen Energie und Kollektorflächen ist ein großer Speicher gefordert. Es kommt ein Erdbeckenwärmespeicher in Frage, welcher entweder mit reinem Wasser oder mit einer Wasser-Kies-Mischung gefüllt ist.

Erdbecken sind im Vergleich zu Behälter-Wärmespeicher flacher mit einer größeren Oberfläche. Erdbecken werden, wie der Namen schon sagt, ebenfalls in den Boden eingebaut. Werden die Seitenwände von einem Verbau (z.B. Spundwand, Berliner Verbau, Bohrpfehlwand) versehen, so kann der Boden ggf. flach sein. Lässt die oberflächennahe Geologie es zu, sind jedoch geböschte Varianten billiger in der Herstellung. Der Boden und die Wände des Erdbeckens werden entweder durch Blähglasgranulat oder durch Membranschalung gedämmt. Erdbecken der Übergrößen können sogar ohne Dämmung hergestellt werden. Das Dach des Erdbeckens wird entweder durch einen gedämmten schwimmenden oder durch einen gedämmten aufliegenden Deckel abgeschlossen.

Das Medium von Erdbecken besteht entweder aus reinem Wasser oder aus einer Mischung von Wasser und Kies, oder Wasser und Erdreich. Zwar ist die Wärmespeicherfähigkeit von reinem Wasser höher als von den gemischten Varianten, jedoch ist die Tragfähigkeit von Wasser geringer (wichtig für das Dach und deren Nutzbarkeit), und die entstehende Temperaturschichtung höher. Je höher der Mischanteil ist, desto niedrigere Temperaturen werden erreicht und desto mehr Trägheit erhält das Medium (und ist somit weniger geeignet für eine schnelle Spitzenlastabdeckung). Für eine vergleichbare Wärmekapazität ist ein Erdbecken mit einem gemischten Medium somit viel größer auszulegen, jedoch sind die Baukosten dafür geringer<sup>26</sup>. In Erdbecken können Temperaturen von 80 - 95 °C erreicht werden<sup>27 28</sup>.

Erdbecken können indirekt (Wasserkreislauf kommt nicht in direkte Berührung mit dem Medium) oder direkt beladen werden. Bei der direkten Beladung und Entnahme sind, je nach Mischanteil, Filter einzusetzen. Wird nur reines Wasser benutzt, können auch bei Erdbecken Schichtbeladeeinrichtungen eingesetzt werden.

Für Erdbecken gilt eine Mindestgröße von 1.000 m<sup>3</sup>. Bestehende Erdbecken erreichen Größen von bis zu 230.000 m<sup>3</sup>. Der Boden soll eine hohe Belastbarkeit und im Optimalfall einen tiefen Grundwasserstand (unterhalb der Baugrubensohle) aufweisen.

---

<sup>25</sup> *Thermische Energiespeicher für Quartiere*. 2021, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

<sup>26</sup> *Saisonalpeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

<sup>27</sup> Addous, M. A. *Berechnen der Größe von Wasserspeichern zum saisonalen Speichern von Wärme bei der ausschließlichen Wärmeversorgung von Häusern mit Solarkollektoren* (Doctoral dissertation, Freiberg (Sachsen), Techn. Univ., Diss., 2006).

<sup>28</sup> *Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling*. 03/2020, IEA DHC

Die Wärmespeicherleistung von Erdbecken ist abhängig von der Mischung des Mediums. Erdbecken mit einer Wasser-Kies-Mischung erreichen Wärmespeicherkapazitäten von 30 - 50 kWh/m<sup>3</sup> (1,3 - 2 Wasseräquivalent)<sup>29</sup>.

Bei einer Wasser-Kies-Mischung wird ca. 2,5 - 4 m<sup>3</sup> Wärmespeicher pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche erforderlich. Bei 11.640 m<sup>2</sup> Kollektorfläche ist somit ein Speichervolumen zwischen etwa 29.100 und 46.560 m<sup>3</sup> erforderlich<sup>30</sup>. Bei einer Wärmespeicherkapazität von etwa 40 kWh/m<sup>3</sup> für Kies-Wasser-Mischungen kann der Wärmespeicher somit ca. 1.862.400 kWh Wärme speichern. Alternativ kann auch reines Wasser als Speichermedium genutzt werden, wodurch sich die Wärmespeicherkapazität erhöht und die Trägheit verringert. Hierdurch reduziert sich aber die Tragfähigkeit des Daches. Detaillierte Simulationsrechnungen, die eine bedarfsgerechte Auslegung des Speichers ermöglichen, sind für die weitere Planung unerlässlich.

Der Platzbedarf des Speichers wird durch die mögliche Tiefe bestimmt. Muss Platz eingespart werden, weil z.B. wenig Fläche vorhanden ist, oder der Grundstückspreis sehr hoch, so können größeren Tiefen (bis z.B. 50 m) mit Schlitzwänden erreicht werden. Ist viel Fläche vorhanden, werden Erdbecken nicht sehr tief gebaut. In Dänemark z.B. sind diese nur ca. 6 m tief. Es ist wichtig, dass sich der Speicher oberhalb des Grundwassers befindet.

Neben der Solarthermieanlage wird ein Gaskessel, bilanziell auf Biogas betrieben (vgl. BHKW der Variante 1), eingesetzt. Zudem kann die vorhandene 300 kW Hackschnitzelanlage weiterbetrieben werden. Zusammen liefern die Hackschnitzelanlage und der Gaskessel die restliche 50% der Wärme. Durch die große Menge an Solarthermieanlagen, werden die restlichen Anlagen in den Monaten Mai / Juni bis August nicht benötigt.

Um einen Ausfall der Versorgung bei Ausfall des Gaskessels zu vermeiden, sind zwei separate Gaskessel zu errichten. Im Bestandwärmenetz der Schule befindet sich bereits ein Gaskessel als Redundanz- und Spitzenlastanlage. Somit ist in dieser Variante nur ein Gaskessel zu errichten. Die Gaskessel sind im Optimalfall flexibel zu betreiben, um Schwankungen im täglichen Wärmeverbrauch zusammen mit dem Wärmespeicher abdecken zu können. Aufgrund des großen Wärmespeichers ist dies jedoch nicht unbedingt notwendig. Zusätzlich können, solange eine Wasser-Kies-Mischung im Speicher genutzt wird, noch einige kleinere Pufferspeicher installiert werden, die tägliche Spitzenlasten abdecken können. Wird reines Wasser als Speichermedium im Saisonspeicher eingesetzt, ist dies nicht notwendig.

Werden diese Dimensionierungen in NPro eingetragen, so wird die folgende Betriebssimulation dargestellt:

---

<sup>29</sup> *Saisonspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

<sup>30</sup> *Thermische Energiespeicher für Quartiere*. 2021, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Tabelle 25: Anlagendimensionierung Variante 2

Anlage	Leistung / Volumen	Wärmeerzeugung / Speicherkapazität	Volllaststunden / Vollladezyklen
Solarthermie	476 kWh/m <sup>2</sup>	5.544 MWh	
Wärmespeicher	46.560 m <sup>3</sup>	1.081.227 kWh	4
Biomassekessel	300 kW <sub>th</sub>	970 MWh	3.233
Gaskessel (Bestand)	378 kW <sub>th</sub>	1.265 MWh	3.347
Gaskessel	681 kW <sub>th</sub>	2.279 MWh	3.347

Alternativ zu dem Gaskessel kann auch eine zusätzliche Biomasseanlage errichtet werden, mit der gleichen thermischen Leistung und etwa gleichen Volllaststunden. Aufgrund des vorhandenen Wärmespeichers ist ein flexibler Betrieb nicht zwingend erforderlich. Eine Biomasseanlage könnte somit 3.347 Stunden auf voller Leistung betrieben werden. Obwohl der Betrieb nur in den Monaten November - April geplant ist, wird der Betrieb in den Monaten März und April nicht mehr durchgängig gebraucht. Das An- und Abschalten der Anlage ist bei Gaskessel als einfacher zu betrachten. In Abbildung 32 wird Variante 2 schematisch dargestellt.

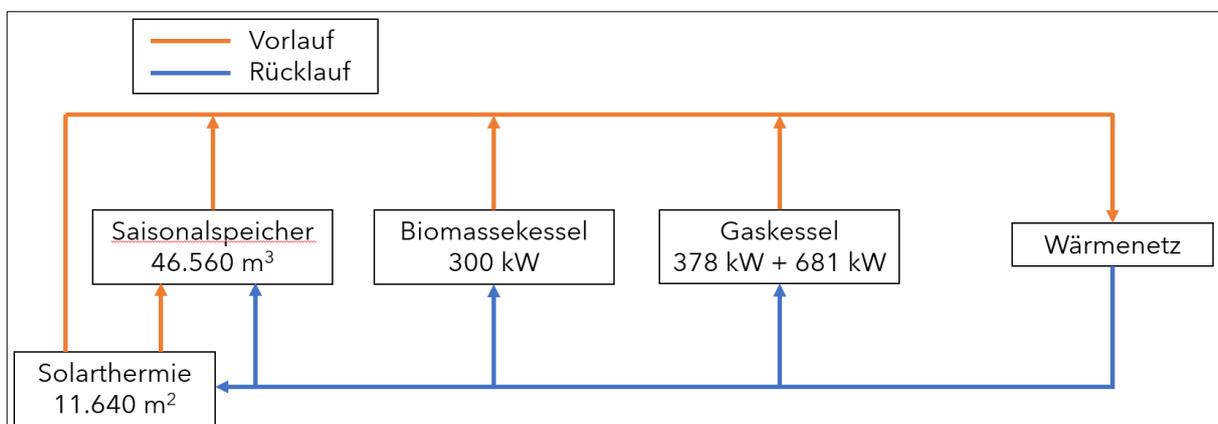


Abbildung 32: Schematische Darstellung der 2. Variante

### 7.1.3 Variante 3: Erdsonden

Bei der dritten Variante wird die Grundlast-Wärme mit einer Großwärmepumpe betrieben auf Umweltwärme (oberflächennahe Geothermie) erzeugt. Auch bei der dritten Variante ist ein Biomethan-Kessel oder eine weitere Hackschnitzelanlage für die Unterstützung der (flexiblen) Wärmeversorgung notwendig.

Für die Variante 3 und der noch folgenden Variante 4 wurde bei der Firma BauGrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH eine Machbarkeitsstudie für Erdsonden und

Grundwasserwärmepumpen beauftragt. Diese Studie wurde aufgrund von personellen Engpässen des Auftragnehmers verspätet fertiggestellt, wodurch die Varianten bereits zuvor konzipiert wurden. Bei den Erdsonden wurde das Risiko einer Bohrtiefenbeschränkung aufgrund eines möglichen (voraussichtlich gespannten) Grundwasserstockwerks festgestellt. Es wurde eine behördliche Anfrage gestellt, ob diese Tiefenbegrenzung unter Umständen überschritten werden darf. Eine Antwort kam jedoch für die Fertigstellung des Energienutzungsplanes nicht pünktlich an. Somit werden die Variante 3 und 4 unter Annahmen ausgearbeitet. Die Variante 3 (Erdsonden) wird mit der Annahme, dass es keine Bohrtiefenbegrenzung geben wird, aufgestellt.

Als Wärmequelle für die Wärmepumpe wird ein Erdsondenfeld angelegt. Bei Erdsonden kann eine Wärmeentzugsmenge von ca. 50 W/m bei 1800 Volllaststunden angenommen werden<sup>31</sup>. Werden mehr Volllaststunden gebraucht, was in Variante 3 der Fall ist, so wird die spezifische Entzugsleistung folgendermaßen berechnet:  $P_s = 1800 / \text{Volllaststunden} * P_{s,1800}$ <sup>32</sup>. Für diese Variante wird von einer Benutzung von 7 Monaten, somit ca. 5110 Volllaststunden ausgegangen. Die spezifische Entzugsleistung reduziert sich somit auf ca. 18 W/m. Für die Regeneration sowie ggf. zu Wärmespeicherzwecken wird das Erdsondenfeld in den Sommermonaten (Mai - September) entlastet und mit Wärme aus Solarthermieanlagen gespeist.

Das Erdsondenfeld wird aus Kosten- und Platzgründen auf einer Leistung von ca. 1,2 MW festgelegt. Mit der Formel  $P_E = P_H * (1 - 1/COP)$  kann die benötigte Wärmeentzugsleistung berechnet werden. Hierbei ist  $P_E$  die Entzugsleistung,  $P_H$  die benötigte Heizleistung, und COP die COP-Zahl der Wärmepumpe. Die Wärmepumpe muss in der Lage sein, hohe Temperaturspreizungen zu erzeugen, da die Vorlauftemperatur des Netzes aufgrund der Länge und der Menge an Abnehmer relativ hoch sein muss. Es kommen hier Hochtemperatur Sole-Wasser-Wärmepumpen (z.B. von der Firma Ochsner) in Frage, die Vorlauftemperaturen von bis zu 95 °C erzeugen können. Gemäß Hersteller können diese Wärmepumpen bei 10°C Quelltemperatur eine Vorlauftemperatur von 90°C bei einem COP von 2,21 erzeugen. Viele Wärmepumpen geben auch die Kälteleistung bereits an. So wird zum Beispiel für 1,2 MW Heizleistung ca. 936 kW Kälteleistung (Wärmeentzugsleistung) gebraucht.

Bei einer Wärmeentzugsmenge von ca. 18 W/m sind hierfür etwa 347 Erdwärmesonden von 150 m Länge erforderlich. Wird überschussige Wärme in die Sonden gespeist, um Wärme zu speichern und damit die Temperatur des Sondenfeldes zu erhöhen (und das Erdsondenfeld zu regenerieren), kann die Menge an Sonden reduziert werden. In einer Präsentation der Huber Energietechnik AG in den EnergiePraxis-Seminaren 2/2011 wird bei 100 % solarer Regeneration und einer guten Platzierung der Erdsonden einer Reduzierung von 49% erreicht. Bei 150% solarer Wiederaufladung können zudem höhere Temperaturen erreicht werden (Erdsondenwärmespeicher). Je nach den

---

<sup>31</sup> Bockelmann, F., Peter, M., & Schlosser, M. (2018). *Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen*. Braunschweig: sn.

<sup>32</sup> Dimensionierung Erdwärmesonden. [www.oeffiziente-waermepumpe.ch](http://www.oeffiziente-waermepumpe.ch) Letzter Abruf: 09.11.2023

Bedingungen kann der Untergrund bis ca. 80 - 90 °C erwärmt werden<sup>33</sup>. Erdsondenfelder sind ab einem Speichervolumen von ca. 20.000 m<sup>3</sup> sinnvoll, und erreichen Wärmedichten von ca. 15 - 30 kWh/m<sup>3</sup> (3 - 6 Wasseräquivalent)<sup>34</sup>.

Der Untergrund zeigt eine hohe Trägheit auf, wodurch Erdsondenwärmespeicher nicht geeignet sind für die Spitzenlastabdeckung. Zudem kann die Aufladung eines Erdsondenwärmespeichers einige Jahre dauern.

Bei einer Reduzierung von 49% sind somit 177 Erdsonden von 150 m Länge oder 133 Erdsonden von 200 m erforderlich. Dies ergibt ein Volumen von etwa 106.400 m<sup>3</sup>. Erdsondenspeicher haben eine spezifische Wärmekapazität von 15 - 30 kWh/m<sup>3</sup>, oder ca. 3-6 Wasseräquivalenten. Der Wärmespeicher hat somit ein Volumen von ca. 26.600 m<sup>3</sup><sub>wä</sub>. Aufgrund der hohen Kosten und des großen Platzbedarfs der Solarthermieanlagen wird diese Option zunächst nicht weiterverfolgt. Die Möglichkeit die FFST zu vergrößern und sich dadurch Leistung und Betriebsstunden der Biomethankessel zu sparen, bleibt aber bestehen.

Die Dimensionierung der erforderlichen und Bestandsanlagen stellt sich folgendermaßen dar:

Tabelle 26: Anlagendimensionierung Variante 3

Anlage	Leistung / Volumen	Wärmeerzeugung / Speicherkapazität	Volllaststunden / Vollladezyklen
Erdwärmepumpe	1.200 kW <sub>th</sub>	5.706 MWh	5.011
Biomassekessel (Bestand)	300 kW <sub>th</sub>	366 MWh	1.221
Gaskessel (Bestand)	378 kW <sub>th</sub>	720 MWh	1.905
Gaskessel	1.671 kW <sub>th</sub>	3.184 MWh	1.905
Wärmespeicher	37 m <sup>3</sup>	863 kWh	20

Für die Dimensionierung der Solarthermieanlagen wird nicht die erzeugte Wärme des Erdsondenfeldes genutzt, sondern die entzogene Wärme. Dies beträgt etwa 70% der erzeugten Wärme. Somit ist pro Jahr ca. 4 GWh an Wärme über Solarthermieanlagen wieder in das Erdsondenfeld einzuführen. Bei ca. 500 kWh/m<sup>2</sup> Kollektorfläche und 200 kWh/m<sup>2</sup> Grundstücksfläche sind ca. 8.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und 20.000 m<sup>2</sup> Grundstücksfläche erforderlich.

<sup>33</sup> *Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling*. 03/2020, IEA DHC

<sup>34</sup> *Saisonalspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Ist nicht die gesamte erzeugte Wärme der Solarthermieranlagen für die Regeneration notwendig, können die Solarthermieranlagen ein Teil der Gaskessel unterstützen oder ersetzen. Die genauen Temperaturverläufe und Regenerationsbedarfe werden sich jedoch erst nach detaillierten Untersuchungen oder ggf. in Betrieb zeigen. In Abbildung 33 wird Variante 3 schematisch dargestellt.

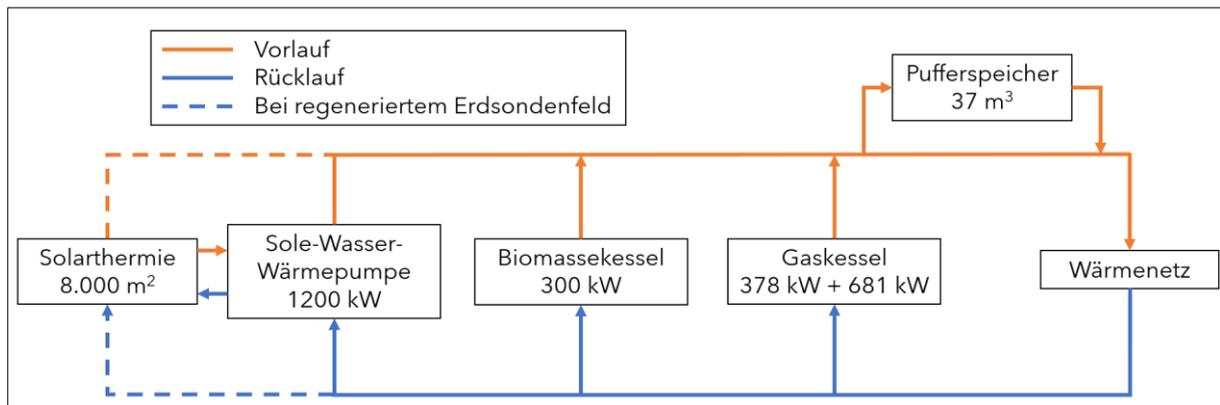


Abbildung 33: Schematische Darstellung der 3. Variante

#### 7.1.4 Variante 4: Grundwasser

Die Variante 4 baut sich sehr ähnlich wie die Variante 3 auf. Bei der Variante 4 wird die Annahme getroffen, dass die Grundwasserergiebigkeit ausreichend ist für eine 1,2 MW Anlage. Ob hierfür genug Wassermengen und Strömung vorhanden ist, kann gemäß Aussage von BauGrund Süd nur nach Probebohrungen geklärt werden.

Da Grundwasser jedoch das ganze Jahr ohne Regeneration zur Verfügung steht, können die Anlagen anders dimensioniert werden. Die Anlagendimensionierung stellt sich folgendermaßen dar:

Tabelle 27: Anlagendimensionierung Variante 4

Anlage	Leistung / Volumen	Wärmeerzeugung / Speicherkapazität	Volllaststunden / Vollladezyklen
Grundwasserwärmepumpe	1.200 kW <sub>th</sub>	7.610 MWh	6.358
Biomassekessel (Bestand)	300 kW <sub>th</sub>	167 MWh	558
Gaskessel (Bestand)	378 kW <sub>th</sub>	538 MWh	1.423
Gaskessel	1.160 kW <sub>th</sub>	1.651 MWh	1.423
Wärmespeicher	22 m <sup>3</sup>	514 kWh	32

Aufgrund der vielen Anlagen und teilweise geringen Volllaststunden, können die Anlagen auch reduziert werden. Hier wäre ein Gaskessel, optimalerweise ebenfalls wieder bilanziell auf Biomethan

betrieben, mit einer Leistung von ca. 1.840 kW Leistung bei 1.282 Volllaststunden möglich. Dies reduziert die Wartungskosten und Wertverluste der Bestandsanlagen. Die Anlagendimensionierung schaut dann folgendermaßen aus:

Tabelle 28: Anlagendimensionierung Variante 4 bei Reduzierung der Anlagen

Anlage	Leistung / Volumen	Wärmeerzeugung / Speicherkapazität	Volllaststunden / Vollladezyklen
Grundwasserwärmepumpe	1.200 kW	7.610 MWh	6.358
Gaskessel	1.838 kW <sub>th</sub>	2.356 MWh	1.282
Wärmespeicher	22 m <sup>3</sup>	514 kWh	32

Eine nachträglich gelieferte geothermische Standortbeurteilung der Firma BauGrund Süd ErdEnergieManagement GmbH vom 29.11.2023 ergab eine „eher ungünstige“ Situation für die Benutzung von Grundwasser. Eine erste Einschätzung ergab einen Brunnenleistung von ca. 5,5 l/s (19,8 m<sup>3</sup>/h) und eine thermische Leistung von ca. >50 - 100 kW. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass diese Werte nur auf theoretischen Berechnungen basieren. Die tatsächlich förderbaren und wiedereinleitbaren Wassermengen können nur mit Probebrunnen sowie Leistungspump- und Einleitversuchen ermittelt werden.

## 7.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die in Kapitel 7.1 genannten Versorgungsvarianten des Schwerpunktgebietes wurde jeweils eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten wurde nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI 2067 berechnet, mit dem Ziel für jede Variante den notwendigen netto Arbeitspreis für die Wärmevermarktung zu berechnen. Der berechnete Wärmepreis spiegelt das Verhältnis zwischen den jährlichen Einnahmen und Kosten über die 20-jährige Betrachtungsdauer wider, und dient somit als Grundlage für die Priorisierung der Varianten.

Die Annuitätenmethode ist eine Art der Wirtschaftlichkeitsberechnung, in der einmalige und laufende Zahlungen in gleichbleibende Zahlungen (Annuitäten) umgewandelt werden. Die Zahlungen bleiben über den gesamten Betrachtungszeitraum gleich und ermöglichen dadurch die Berechnungen der jährlichen durchschnittlichen Einnahmeüberschüsse. Im Gegensatz dazu ermittelt die Kapitalwertmethode nur den Gesamtwert der Überschüsse im gesamten Zeitraum.

In den Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurde mit einem Kapitalzins von 1,0% gerechnet. Der Marktzins wurde auf 4,0% gesetzt, und die Allgemeine Teuerungsrate auf 2,2%. Für alle Investitionskomponenten in den verschiedenen Varianten wurde gemäß Tabelle A2 im VDI 2067 Blatt 1 die rechnerische Nutzungsdauer hinterlegt. Die Höhe der Investitionen für Heizanlagenkomponenten und Netzkomponenten wurden mit Richtwerten aus vergleichbaren Projekten ermittelt. In den Investitionskosten wurde zusätzlich das Förderprogramm BEW mit den Modulen 1, 2 und 4 berücksichtigt. Weiter wird als laufende Kosten die CO<sub>2</sub>-Steuer durch den Bedarf von Biomasse- und Gas mit CO<sub>2</sub>-Faktoren aus dem „Informationsblatt CO<sub>2</sub>-Faktoren“ vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle berechnet. Die weiteren laufenden Kosten setzen sich u.a. aus Brennstoffkosten, Betriebsstromkosten und Wartungskosten zusammen. Die Brennstoffkosten für die benötigten Energieträger ergeben sich aus aktuellen Preisen im deutschen Brennstoffmarkt<sup>35, 36</sup>. Die laufenden Kosten für Wartung und Instandhaltung ergeben sich aus den Prozentsätzen der VDI 2067 und weiteren Richtlinien für die spezifischen Anlagen.

Die Einnahmen ergeben sich aus der jährlich verkauften Wärmemenge. Dabei ist ein Grundpreis (GP) in EUR/kW angesetzt, der mit der maximal erforderlichen Heizleistung im Projektgebiet einen Teil der Einnahmen bildet. Der angesetzte Grundpreis ist vergleichbar mit mehreren Grundpreisen von bekannten Wärmeversorgern. Der zweite Teil ergibt sich aus den Einnahmen durch den Arbeitspreis (AP) und der verkauften Wärmemenge (MWh/a). Der AP wird mit der Zielwertsuche-Funktion berechnet. Dabei wird der AP berechnet, der dafür sorgt, dass das Betriebsergebnis über den Betrachtungszeitraum auf 0,0% ist. Das heißt, dass ohne Verkaufsmarge gerechnet wird, und dass die Einnahmen über den Betrachtungszeitraum kostendeckend sind. Mit dem resultierenden AP kann die Realisierbarkeit der Varianten ermittelt werden.

---

<sup>35</sup> Agriportance.com, Entwicklung der Biomethan-Preise

<sup>36</sup> Hackschnitzelpreise, Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V.

### 7.2.1 Variante 1

Die erste Versorgungsvariante unterscheidet sich von den anderen Varianten, weil hier auch die Stromproduktion und die Stromvermarktung berücksichtigt wird. Durch den hohen Bedarf an Biomethan, um das BHKW sowohl als Wärme- und Stromerzeuger zu betreiben, sind die jährlichen Brennstoffkosten und CO<sub>2</sub>-Steuerkosten relativ hoch. Auch die gesamten Investitionskosten sind bei ca. 16.500.000 € (ohne Förderung) aufgrund des BHKWs und Stromspeichers die zweithöchsten der vier Varianten. Obwohl durch die Stromvermarktung auch Einnahmen entstehen, ist Variante 1 mit einem resultierenden Arbeitspreis für Wärme von 23,69 ct/kWh die unwirtschaftlichste Variante.

In der Tabelle 29 sind die angesetzten Investitionskosten für die Wärmeerzeuger- und Speicheranlagen aufgelistet.

Tabelle 29: Übersicht der Investitionskosten für Variante 1

Anlage	Investitionskosten
BHKW	2.110.000 € <sup>37</sup>
Wärmespeicher	171.000 € <sup>38</sup>
Stromspeicher	1.235.000 € <sup>39</sup>

### 7.2.2 Variante 2

Die zweite Variante bringt auf Grund des Erdbeckens und der großen Solarthermieanlage die höchsten Investitionskosten (ca. 17.500.000 € ohne Förderung) der vier Varianten mit sich. Die Betriebskosten sind im Verhältnis zur 1.Variante deutlich geringer, unter anderem wegen dem geringeren Bedarf an Biomethan. Zusätzlich hat die Berücksichtigung des Modul 4 der BEW-Förderung (Betriebskostenförderung) besonders in den ersten 10 Jahren des Betrachtungszeitraums einen großen Einfluss auf die Betriebskosten. Die Betriebskosten der Solarthermieanlage werden mit ca. 1 ct pro kWh<sub>th</sub> erzeugter Wärmemenge gefördert.

Aufgrund der hohen Investitionskosten resultiert die Wirtschaftlichkeitsberechnung in einem Arbeitspreis von 19,63 ct/kWh. Dies ist der zweithöchste Arbeitspreis der vier Varianten.

In der Tabelle 30 sind die angesetzten Investitionskosten für die Wärmeerzeuger- und Speicheranlagen aufgelistet.

<sup>37</sup> Leitfaden Biomethan BHKW – direkt. 11/2013, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

<sup>38</sup> Herstellerumfragen

<sup>39</sup> Produktsuche / Preisvergleich

Tabelle 30: Übersicht der Investitionskosten für Variante 2

Anlage	Investitionskosten
Biogaskessel	76.272 € <sup>40</sup>
Wärmespeicher, Erdbecken	3.492.000 € <sup>41</sup>
Solarthermieanlage	3.094.883 € <sup>42</sup>

Die Kosten für den Wärmespeicher sind u.a. aus der Grafik in Abbildung 34 ermittelt worden. Dort ist das Verhältnis der Investitionskosten zu den Speichervolumen für mehrere Wärmespeicher-Projekte hauptsächlich in Deutschland und Dänemark dargestellt. Bei einem Speichervolumen von 46.560 m<sup>3</sup> geben die Referenzprojekte spezifische Kosten von ca. 75€/m<sup>3</sup><sub>WÄ</sub>, und somit Gesamtinvestitionskosten von 3.492.000 €.

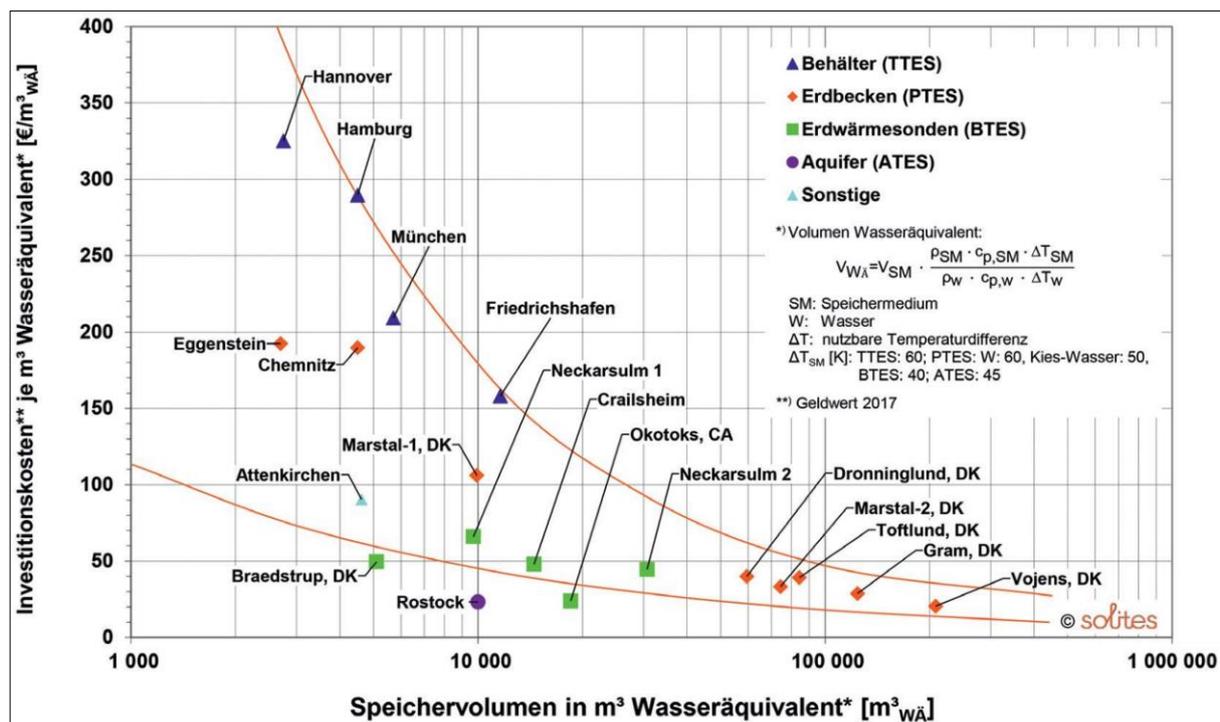


Abbildung 34: Investitionskosten verschiedener Saisonspeichervarianten. Quelle: Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme [www.saisonspeicher.de](http://www.saisonspeicher.de)

<sup>40</sup> Herstellerumfrage

<sup>41</sup> Förder- und Finanzierungsleitfaden für Freiflächen- Solarthermie-Anlagen mit Wärmespeicher und Anbindung an Wärmenetze. 06.2016, Solites – Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

<sup>42</sup> Ebd.

In der Tabelle 31 sind die Kostenkomponenten der Solarthermieanlage aufgelistet. Mit den Komponenten setzt sich bei der Kollektorfeldgröße von 11.640 m<sup>2</sup> die Gesamtinvestition für die Wirtschaftlichkeitsberechnung zusammen. Die Tabelle 32 zeigt zusätzlich die Betriebskosten dieser Solarthermieanlage.

Tabelle 31: Auflistung der Kostenkomponenten der Solarthermieanlage in Variante 2

<b>Investitionen</b>	<b>Spezifisch</b>	<b>Gesamt</b>
Kollektorfeld	€ 221	€ 2.572.400
Anlagentechnik, Wärmetauscher	7%	€ 180.071
MSR-Technik	3%	€ 77.172
Anbindungsleitung Netz	€ 800	€ 8.000
Gebäude, Umzäunung	5 %	€ 128.620
Planung & Genehmigung	5 %	€ 128.620
<b>Summe</b>		<b>€ 3.094.883</b>

Tabelle 32: Auflistung der Betriebskosten der Solarthermieanlage in Variante 2

<b>Funktion</b>	<b>Spezifisch</b>	<b>Gesamt</b>
Wartung/Instandhaltung Kollektorfeld	1,00 %	€ 25.724
Wartung/Instandhaltung Anlagentechnik	2,25 %	€ 4.502
Wartung/Instandhaltung MSR-Technik	2,5 %	€ 1.929
Wartung/Instandhaltung Solarnetz	1,00 %	€ 80
Wartung/Instandhaltung Gebäude	2,00 %	€ 2.572
Betriebsmittel, Stromkosten	€ 0,29 / kWh bei 46.200 kWh/a	€ 13.400
<b>Summe</b>		<b>€ 48.207</b>

### 7.2.3 Variante 3

Variante 3 ist der Variante 2 hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sehr ähnlich. Die Investitionskosten sind mit ca. 15.900.000 € (ohne Förderung) geringer, aber die Betriebskosten gleichen sich in sehr hohem Grad. Grund dafür ist der ähnliche Biomethanbedarf, und die Betriebskostenförderung auf den Betriebsstrom der Wärmepumpen. Dabei werden ca. 3 ct pro kWh<sub>th</sub> erzeugter Wärmemenge gefördert. Die Kosten für den relativ hohen Strombedarf für die Wärmepumpen gleichen sich damit dem etwas geringeren Strombedarf in der Variante 2 (?) ohne Wärmepumpe. Insgesamt sind die Betriebskosten jedoch etwas höher.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung resultiert in einem Arbeitspreis von 18,54 ct/kWh, was somit ca. 1,1 ct/kWh günstiger als Variante 2 ist, und von den vier Varianten der zweitgünstige Arbeitspreis ist.

In der Tabelle 33 sind die angesetzten Investitionskosten für die Wärmeerzeuger- und Speicheranlagen aufgelistet.

Tabelle 33: Übersicht der Investitionskosten für Variante 3

Anlage	Investitionskosten
Biogaskessel	187.152 € <sup>43</sup>
Solarthermieanlage	2.130.029 € <sup>44</sup>
Wärmepumpe	651.000 € <sup>45</sup>
Erdsonden	1.330.000 € <sup>46</sup>

Bei einer Größe des Erdsondenfeldes von 177 Erdsonden von 150 m Länge, oder 133 Erdsonden von 200 m, ergibt dies ein Volumen von etwa 106.400 m<sup>3</sup>. Erdsondenfelder haben eine spezifische Wärmespeicherkapazität von 15 - 30 kWh/m<sup>3</sup> oder ca. 3 - 6 Wasseräquivalent. Das Erdsondenfeld hat somit ein Volumen von ca. 26.600 m<sup>3</sup><sub>WÄ</sub>. Bei etwa 50 €/m<sup>3</sup><sub>WÄ</sub> ergeben sich somit die Kosten von ca. 1.330.000 € für die Errichtung des Erdsondenfeldes.

In der Tabelle 34 sind die Kostenkomponenten der Solarthermieanlage aufgelistet. Mit den Komponenten setzt sich bei der Kollektorfeldgröße von 8.000 m<sup>2</sup> die Gesamtinvestition zusammen.

<sup>43</sup> Herstellerumfrage

<sup>44</sup> Förder- und Finanzierungsleitfaden für Freiflächen- Solarthermie-Anlagen mit Wärmespeicher und Anbindung an Wärmenetze. 06.2016, Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

<sup>45</sup> Umfrage OCHSNER Wärmepumpen GmbH

<sup>46</sup> Förder- und Finanzierungsleitfaden für Freiflächen- Solarthermie-Anlagen mit Wärmespeicher und Anbindung an Wärmenetze. 06.2016, Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Tabelle 34: Auflistung der Kostenkomponenten der Solarthermieanlage in Variante 3

<b>Investitionen</b>	<b>Spezifisch</b>	<b>Gesamt</b>
Kollektorfeld	€ 221	€ 1.768.000
Anlagentechnik, Wärmetauscher	7%	€ 123.760
MSR-Technik	3%	€ 53.040
Anbindungsleitung Netz	€ 800	€ 8.429
Gebäude, Umzäunung	5 %	€ 88.400
Planung & Genehmigung	5 %	€ 88.400
<b>Summe</b>		<b>€ 2.130.029</b>

#### 7.2.4 Variante 4

Variante 4 ist sowohl hinsichtlich der Investitions- als auch der Betriebskosten die deutlich wirtschaftlichste Variante. Die Investitionskosten von ca. 11.200.000 € (ohne Förderung) sind vorteilhaft und ergeben sich dadurch, dass keine so investitionsschwere Komponente für die Wärmeerzeugung- oder Speicherung benötigt wird wie in den anderen Varianten z.B. das BHKW, das Erdbecken oder die Solarthermieanlage. Auch die Betriebskosten sind durch den geringsten Brennstoffbedarf und die Betriebskostenförderung für den Betriebsstrom der Wärmepumpen insgesamt die geringsten unter den Varianten.

Insgesamt resultiert die Wirtschaftlichkeitsberechnung in einem Arbeitspreis von 13,60 ct/KWh. Dieser ist vergleichbar mit anderen bekannten Arbeitspreisen für Nah- und Fernwärmeversorgung, und ist somit realisierbar.

In der Tabelle 35 sind die angesetzten Investitionskosten für die Wärmeerzeuger- und Speicheranlagen aufgelistet.

Tabelle 35: Übersicht der Investitionskosten für Variante 4

Anlage	Investitionskosten
Biogaskessel	130.000 € <sup>47</sup>
Grundwasser-Wärmepumpe	791.000 € <sup>48</sup>
Wärmespeicher	8.360 € <sup>49</sup>

## 8. Fazit und Empfehlung

Der Energienutzungsplan für die Gemeinde Feldkirchen-Westerham zeigt, dass die Gemeinde bereits ihre ersten Schritten bis zur Klimaneutralität getätigt hat, es jedoch noch sehr viel Ausbaupotenzial gibt. Etwa die Hälfte des Strombedarfs und dreiviertel des Heizenergiebedarfs wird noch über fossilen Energieträger bereitgestellt. Die Potenzialermittlung ergab sowohl bei der Energieeinsparung als auch bei der Energieerzeugung viel Potenzial in der Gemeinde. Die nächsten möglichen Schritte für die Gemeinde befinden sich im Maßnahmenkatalog, sowie im Schwerpunktprojekt. Dieser Energienutzungsplan soll kein „Schubladenkonzept“ sein, sondern als Orientierungs- und Planungshilfe für die Umsetzung dienen.

Der Maßnahmenkatalog stellt 10 umsetzbare Maßnahmen für die Gemeinde dar. Die Maßnahmen mit dem meisten Potenzial auf Umsetzung und CO<sub>2</sub> Einsparung befinden sich in den Maßnahmen „Zweite Windenergieanlage im Riedholz“ sowie „Errichtung von Agri-PV-Anlagen“. Die Gemeinde ist geprägt von landwirtschaftlichen Nutzflächen, die zum Teil sehr gut für Agri-PV Anlagen genutzt werden können. Zunächst ist die grundsätzliche Bereitschaft innerhalb der Gemeinde und des Gemeinderates für solche Anlagen, und darauffolgend die grundsätzliche Bereitschaft zur Bereitstellung verschiedener Grundstücke, zu klären. Ergeben sich aus diesen Schritten positive Rückmeldungen, so sind die ersten konkreten Planungsschritten einzuleiten. Eine erste Windenergieanlage im Riedholz ist bereits in Planung. Eine zweite Anlage stößt generell auf viel weniger Widerstand, könnte die Gemeinde bei Ihren Zielen jedoch stark unterstützen. Zunächst hat die Gemeinde die Planung und den Bau der ersten Anlage weiterhin zu unterstützen. Währenddessen, oder ggf. im Nachhinein, sind auch hier die interne sowie Grundstücksbereitschaften zu klären, bevor weitere Planungsschritten angegangen werden können.

Das Schwerpunktprojekt hat mit den verschiedenen Varianten und den dazugehörigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gezeigt, dass Wärmenetze auf Basis erneuerbaren Energien in der

---

<sup>47</sup> Herstellerumfrage

<sup>48</sup> Umfrage OCHSNER Wärmepumpen GmbH und BauGrund Süd

<sup>49</sup> Herstellerumfrage

Gemeinde wirtschaftlich umsetzbar sind. Die Variante 4 zeigte sich als wirtschaftlich realisierbar, wird jedoch an diesem Standort durch die begrenzte Durchlässigkeit des Untergrundes in der Leistung begrenzt. Eine ähnliche Lösung kann jedoch an einem anderen Standort in der Gemeinde potenziell besser ausfallen. Das Schwerpunktprojekt zeigt das Potenzial und die Funktion solcher Netzte somit nicht nur für das Schwerpunktprojektgebiet, sondern für die gesamte Gemeinde.

## 9. Hauptquellen

- Agriportance.com, Entwicklung der Biomethan-Preise. Verfügbar auf: <https://agriportance.com/de/tools/biomethan-entwicklung-preise/> Letzter Abruf: 26.10.2023
- „Am 16. November treten die geänderten 10H-Regelungen in Kraft – Die Nachfrage nach neuen Windenergieprojekten ist bereits gestiegen“ Pressereferat Bayerische Staatsregierung, Pressemitteilungen, 09.11.2022,
- Addous, M. A. Berechnen der Größe von Wasserspeichern zum saisonalen Speichern von Wärme bei der ausschließlichen Wärmeversorgung von Häusern mit Solarkollektoren (Doctoral dissertation, Freiberg (Sachsen), Techn. Univ., Diss., 2006).
- *Agri-Photovoltaik - Stand und offene Fragen*. 05.2021. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ).
- Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. 17.05.2023, Fraunhofer ISE
- Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. 17.05.2023. Fraunhofer ISE, Dr. Harry Wirth
- *Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung*. 08.2021 Beitrag zur Berichtspflicht EnEff-RL, Artikel 14, Anhang VIII. Umweltbundesamt. CLIMATE CHANGE 54/2021
- *Bau- und landesplanerische Behandlung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen*. Hinweise des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr. In Abstimmung mit den Bayerischen Staatsministerien für Wissenschaft und Kunst, für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, für Umwelt und Verbraucherschutz sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Stand 10.12.2021
- Bockelmann, F., Peter, M., & Schlosser, M. (2018). Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen. Braunschweig: sn.
- Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling. 03/2020, IEA DHC
- *Dimensionierung Erdwärmesonden*. [www.effiziente-waermepumpe.ch](http://www.effiziente-waermepumpe.ch) Letzter Abruf: 09.11.2023
- *Energiebericht 2022, Kommunales Energiemanagement Feldkirchen-Westerham*. 17.05.2023, Gemeinde Feldkirchen Westerham, Nico Hirsemann. Stand: 12.05.2023
- Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft. Verband der Landwirtschaftskammern e. V., 2009
- *Erdwärme – die Energiequelle aus der Tiefe*. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Stand: April 2016
- Förder- und Finanzierungsleitfaden für Freiflächen- Solarthermie-Anlagen mit Wärmespeicher und Anbindung an Wärmenetze. 06.2016, Solites – Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
- Geothermie Neenah Gessner GmbH, Vormachbarkeitsstudie. Erdwerk GmbH. Stand: 07.11.2022
- *Hackschnitzelpreise*, Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V., 2023. Verfügbar auf: <https://depv.de/p/Hackschnitzelpreise-fallen-im-ersten-Quartal-2023-4FDFBURM7jqR3D5sdgzXX> Letzter Abruf: 26.10.2023
- Hellwig, M. (2003). *Entwicklung und anwendung parametrisierter standard-lastprofile* (Doctoral dissertation, Technische Universität München).

- Kleinwindkraftanlagen – Hintergrundinformationen und Handlungsempfehlungen. 2015, C.A.R.M.E.N. e.V.
- *Kurzstudie zur Rolle der KWK in der Energiewende*. 03.2018. Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, DLR-Institut für Technische Thermodynamik
- *Leitfaden Biomethan BHKW – direkt*. 11/2013, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
- *Leitfaden Energienutzungsplan Teil I: Bestands- und Potenzialanalyse*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB). Stand 09.08.2010.
- Leitfaden Freiflächen-Photovoltaikanlagen. C.A.R.M.E.N. e.V. Stand: März 2023
- *Richtlinie (EU) 2018/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates*. 11.12.2018. Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union
- *Saisonalspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
- *Sanierungsleitfaden Baden-Württemberg*. 05.2019. KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft.
- *Standorte für Erdwärmekollektoren*. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Hannover
- *Technisch-wirtschaftliche Analyse und Weiterentwicklung der solaren Langzeit-Wärmespeicherung*. 2012, Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
- *Thermische Energiespeicher für Quartiere*. 2021, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
- Überblick Windenergie an Land: Anlagenhöhe | Flächenbedarf | Turbinenanzahl. 03.2019. Fachagentur Windenergie an Land e.V.
- *Windmessung für Kleinwindkraftanlagen*. Patrick Jüttemann, Klein-Windkraftanlagen.com
- *Windpotentialstudie Wiesbaden*. 20.02.2009, Johannes Hagemann, JH Wind, im Auftrag des Umweltamt der Stadt Wiesbaden
- [www.solarbranche.de](http://www.solarbranche.de), letzter Aufruf 14.07.2023