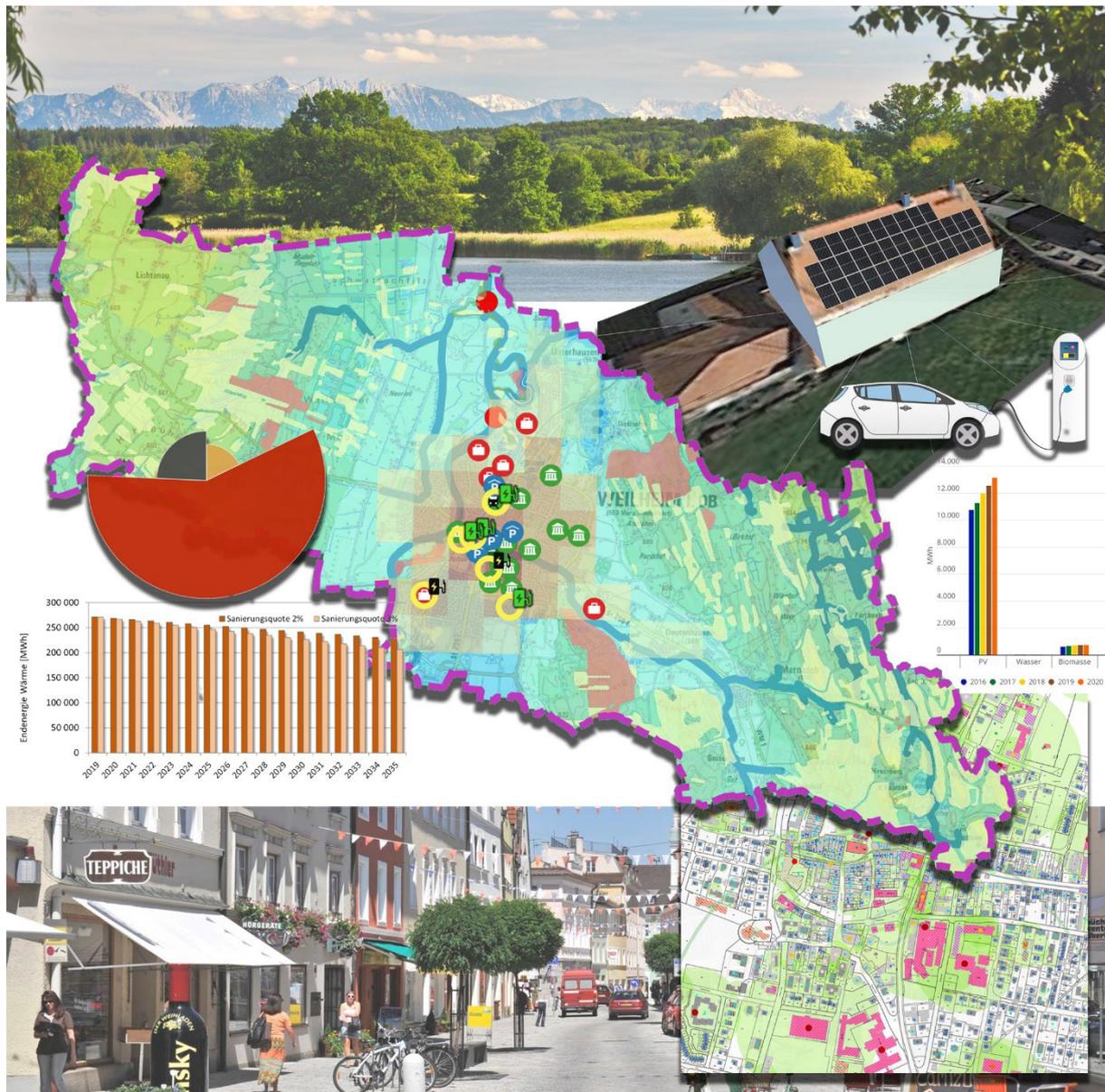




# ENERGIENUTZUNGSPLAN

## STADT WEILHEIM IN OBERBAYERN



## *Auftraggeber*

Stadt Weilheim i. OB

## *Auftragnehmer*

EWO-Kompetenzzentrum Energie EKO e.V., Penzberg

## *Dank*

Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Rathauses, der Stadtwerke Weilheim und der WBV Weilheim, die umfangreiche Informationen, Datenmaterial sowie Hintergrundwissen zu den Liegenschaften der Stadt Weilheim zur Verfügung stellten.

## *Titelbild*

Ludwig Hagelstein

*Bildnachweis: [www.weilheim.de](http://www.weilheim.de)*

## **Impressum**

EWO-Kompetenzzentrum Energie EKO e. V.  
Am Alten Kraftwerk 4  
82377 Penzberg  
Tel.: 08856 80536-0  
Fax: 08856 80536-29  
E-Mail: [info@kompetenzzentrum-energie.info](mailto:info@kompetenzzentrum-energie.info)  
Web: [www.kompetenzzentrum-energie.info](http://www.kompetenzzentrum-energie.info)

Vertretungsberechtigter Vorstand: Stefan Drexlmeier

Registergericht: Amtsgericht München  
Registernummer: VR 204261

Jahr: 2022

Gefördert durch

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



# Inhalt

<b>Inhalt</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>VII</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage .....	2
1.1 Übersicht Weilheim i. OB .....	2
1.2 Demographie .....	3
1.3 Wirtschaft und Flächennutzung .....	4
1.4 Natur und Landschaftsschutz .....	6
1.5 Klima .....	7
<b>2 Bestandsanalyse</b> .....	<b>8</b>
2.1 Strom .....	11
2.2 Wärme.....	14
2.3 Kommunale Liegenschaften .....	18
2.4 CO <sub>2</sub> - Bilanz.....	20
<b>3 Potenzialanalyse</b> .....	<b>22</b>
3.1 Energieeinsparpotenziale bis 2035.....	23
3.1.1 Wärmeeinsparpotenziale im Gebäudebestand.....	23
3.1.2 Effizienz in der Energieerzeugung .....	26
3.1.3 Einsparpotenziale Strom .....	27
3.2 Regenerative Energieerzeugungspotenziale .....	27
3.2.1 Solarenergie (Dachflächen).....	27
3.2.2 Freiflächen-Photovoltaik.....	32
3.2.3 Bioenergie aus Land- und Forstwirtschaft.....	34
3.2.4 Windenergie .....	40
3.2.5 Wasserkraft.....	42
3.2.6 Oberflächennahe Geothermie.....	43
3.2.7 Abwärme.....	50
3.3 E-Mobilität .....	52

<b>4</b>	<b>Konzeptentwicklung</b> .....	<b>55</b>
4.1	Handlungsbedarf und Handlungsoptionen.....	55
4.1.1	Strom.....	55
4.1.2	Wärme .....	57
4.1.3	Ausbauszenario Erneuerbare Energien .....	60
4.2	Wirtschaftliche Bewertung EE-Ausbau.....	63
<b>5</b>	<b>Maßnahmenempfehlungen für Weilheim</b> .....	<b>65</b>
5.1	Maßnahmenkatalog.....	66
5.1.1	Maßnahmen für die Stadt Weilheim .....	66
5.2	Maßnahmen für Bürgerinnen und Bürger .....	74
5.2.1	Thementag Solar .....	74
5.2.2	Dachintegrierte PV-Anlagen / Solardachziegel.....	75
5.2.3	Thermografie-Spaziergang .....	76
5.2.4	Heizungstausch-Offensive – welches Heizsystem ist das richtige?.....	76
5.3	Schwerpunktprojekt Erneuerbare Energien .....	79
5.4	Schwerpunktprojekt Neubauten.....	82
5.5	Schwerpunktprojekt Bestandsgebäude: Sanierungsempfehlung Stadttheater.....	84
5.6	Schwerpunktprojekt Arealversorgung.....	86
5.7	Schwerpunktprojekt Ladeinfrastruktur.....	87
5.8	Schwerpunktprojekt Wärmeverbund .....	93
5.9	Schwerpunktprojekt Wasserversorgung .....	95
5.10	Schwerpunktprojekt Klärschlamm.....	96
5.11	Übersicht der Maßnahmen.....	98
<b>6</b>	<b>Fördermittel und Finanzierung für Energieprojekte</b> .....	<b>99</b>
6.1	Verbraucherzentrale Bayern .....	99
6.2	Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) .....	99
6.3	Programme für Privatpersonen - KfW-Programm 261 .....	103
6.4	Programme für Unternehmen.....	104
6.5	KfW-Programme 439 & 441 Ladestationen für Elektrofahrzeuge .....	105
6.6	Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW).....	106
<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>107</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>111</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht über das Stadtgebiet von Weilheim i. OB.....	2
Abbildung 1-2: Entwicklung der Bevölkerungszahl 1960-2020 und Vorausberechnung für das Jahr 2035 (links) und Bevölkerung nach Altersgruppen 1990 und 2020 (rechts).....	3
Abbildung 1-3: Übersicht der Flächennutzung gemäß amtlichem Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) in Weilheim (Daten: LfStat, 2021c).....	4
Abbildung 1-4: Entwicklung der Wohnfläche in Weilheim (Daten: LfStat, 2021d).....	5
Abbildung 1-5: Darstellung aller Schutzgebietskategorien in Weilheim.....	6
Abbildung 1-6: Monatsmitteltemperaturen (links) und mittlerer Monatsniederschlags (rechts) 1961-1990 und 1991-2020. Datengrundlage: Monatsmittelwerte Observatorium Hohenpeißenberg, DWD (Emeis, 2022).....	7
Abbildung 2-1: Endenergieverbrauch nach Sektoren: Mobilität, Strom, Wärme. * regionale Daten hochgerechnet durch IFEU ( <i>Energie- und CO2-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022</i> ). .....	8
Abbildung 2-2: Endenergiebilanz nach Verbrauchssektoren im Jahr 2019 in Weilheim ( <i>Energie- und CO2- Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022</i> ). .....	9
Abbildung 2-3: Energieflussschema der Stadt Weilheim.....	10
Abbildung 2-4: Aufteilung des Netzabsatzes in Weilheim nach Sektoren im Jahr 2019 (Bayernwerk, 2019b).....	11
Abbildung 2-5: Gegenüberstellung von Netzbezug (links) und -einspeisung sowie die Zusammensetzung der Energieträger (rechts) (Bayernwerk, 2019a, 2019b).....	12
Abbildung 2-6: Einspeisemengen nach Erzeugungsform 2015-2018 (Bayernwerk, 2019a).....	13
Abbildung 2-7: Räumliche Darstellung der bestehenden erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen (Strom) in Weilheim. Die Höhe der Balken orientiert sich an der installierten Anlagenleistung (LfU, 2022a). Kartenbasis: © BingMaps.....	13
Abbildung 2-8: Stromnetz: Verlauf der Mittel- und Hochspannungsleitungen in Weilheim.....	14
Abbildung 2-9 Wärmedichtekarte der Kreisstadt Weilheim (Ingenieurbüro S. Sendl, 2022). .....	15
Abbildung 2-10: Exemplarischer Ausschnitt aus dem gebäudescharfen Wärmekataster von Weilheim [kWh/a]. (Ingenieurbüro S. Sendl, 2022).....	16
Abbildung 2-11 Energiemix Wärme (Endenergie) in Weilheim ( <i>Energie- und CO2-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022</i> ).....	17
Abbildung 2-12: Anteil von Strom und Wärme am Energieverbrauch der kommunalen Liegenschaften der Stadt Weilheim (links) und Anteile der Energieträger an der Wärmebereitstellung (rechts). .....	19
Abbildung 2-13: Aufteilung der Energieträger nach Gebäudekategorie ( <i>Energie- und CO2-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022</i> ). .....	20
Abbildung 2-14: CO2-Bilanz nach Verbrauchssektoren im Jahr 2019 in Weilheim ( <i>Energie- und CO2-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022</i> ). .....	21
Abbildung 3-1: Übersicht der Betrachtungsebenen von Energiepotenzial (StMUG et al., 2011). .....	22

Abbildung 3-2: Mögliche Wärmebedarfsentwicklung bei Sanierungsquoten von 2 % und 3 % bis zum Jahr 2035 in Weilheim. ....	24
Abbildung 3-3: Ausschnitt Wärmedichtekarte Weilheim mit vorrangigen Sanierungsgebieten (blaue Ellipsen). ....	25
Abbildung 3-4: Ausschnitt des LoD2-Gebäudemodells in Weilheim (Basiskarte: OpenStreetMap.org). ....	28
Abbildung 3-5: Durch Korrektur der Globalstrahlungsdaten nach Neigung und Ausrichtung ist für jede Dachfläche die verfügbare Globalstrahlung bekannt (Hofer et al., 2016). ....	29
Abbildung 3-6: Eigentumsverhältnisse Forst im Stadtgebiet von Weilheim. ....	34
Abbildung 3-7: Bereits genutztes und zusätzlich nachhaltig nutzbares Potenzial in den Weilheimer Privatwäldern. ....	35
Abbildung 3-8: Die sich aus dem Nutztierbestand in Weilheim ergebenden Biogaspotenziale. ....	37
Abbildung 3-9: Beispiele für alternative Biogassubstrate: Sida (1) und Riesenweizengras (2), mit denen jeweils hohe Biogaserträge erzielt werden können (Biogas Forum Bayern, 2017). ....	38
Abbildung 3-10: Gebietskulisse Windkraft Stadtgebiet Weilheim. ....	40
Abbildung 3-11: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 140 m Höhe über Weilheim. ....	41
Abbildung 3-12: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 10 m Höhe über Weilheim. ....	42
Abbildung 3-13: Gewässerkulisse von Weilheim. ....	43
Abbildung 3-15: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmekollektoren in Weilheim. ....	46
Abbildung 3-16: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmesonden in Weilheim. ....	47
Abbildung 3-17: Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen in Weilheim. ....	48
Abbildung 3-18: Absatzentwicklung Wärmepumpen nach Wärmepumpentypen, Deutschland 2002-2021. ....	49
Abbildung 3-19: Beispielansicht eines Erdwärmekorbs. ....	50
Abbildung 3-20: Das Prinzip von Energiepfählen ( <a href="http://www.baunetzwissen.de">www.baunetzwissen.de</a> ). ....	50
Abbildung 3-21: Die Verknüpfung von Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wie Sonne und E-Mobilität kann zukünftig einen Beitrag leisten, um die verkehrsbedingten Emissionen in der Region zu senken. ....	53
Abbildung 3-22: Bedarf an öffentliche zugänglicher Ladeinfrastruktur in Deutschland nach Szenarien (Windt & Arnhold, 2020) ....	54
Abbildung 4-1: Anteil des in Weilheim erneuerbar erzeugten Stroms am Gesamtstrombezug und der fossilen Stromerzeugung 2019. ....	55
Abbildung 4-2: Ist-Stand (2019) und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung in Weilheim im Vergleich zum Gesamtverbrauch 2019 und Szenarien dazu. ....	57
Abbildung 4-3: Erneuerbarer und fossiler Anteil der Wärmeversorgung im Jahr 2019 in Weilheim. ....	58
Abbildung 4-4: Ist-Stand (2019) und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung in Weilheim. ....	59
Abbildung 4-5: Ausbaupfad bis 2035 für eine zukünftige Stromversorgung in Weilheim. ....	60

Abbildung 4-6: Ausbaupfad für eine zukünftige Wärmeversorgung in Weilheim.....	61
Abbildung 4-7: Möglicher Beitrag zum Klimaschutz im Wärme- und Stromsektor bei Realisierung der oben dargestellten Szenarien in Weilheim. ....	62
Abbildung 4-8: Summe der Gesamtkosten 2018/2019 für Wärme und Strom in Weilheim. ....	63
Abbildung 4-9: Regionale Wertschöpfung 2019 und 2035 durch erneuerbare Energien entsprechend der Szenarien.....	64
Abbildung 5-1: Ablaufschema bei der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen. ....	66
Abbildung 5-2: Mögliche Trasse zur Anbindung des Stadtmuseums an die Hackschnitzelheizung der Kirche.....	67
Abbildung 5-3: Ablauf des European Energy Awards. ....	70
Abbildung 5-4: Grundkonzept Schachtkraftwerk Großweil (Wasserkraftwerk Großweil GmbH, 2015).....	72
Abbildung 5-5: Konzept eines "EavorLoops" (www.eavor.de, 2022).....	73
Abbildung 5-6: Beispiele für eine dachintegrierte PV-Anlage in Dürnbach (links) und Solardachziegel ( <a href="https://www.autarq.com">https://www.autarq.com</a> ) (rechts). ....	75
Abbildung 5-7: Ausschnitt aus dem Solarpotenzialkataster des Landkreises Weilheim-Schongau ( <a href="https://www.solare-stadt.de/lk-wm-sog/">https://www.solare-stadt.de/lk-wm-sog/</a> ). ....	76
Abbildung 5-8: Energiestandards von Gebäuden [kWh/m <sup>2</sup> *a]. ....	77
Abbildung 5-9: Längsschnitt Stadttheater Weilheim. ....	84
Abbildung 5-10: Vogelperspektive Stadttheater Weilheim. ....	84
Abbildung 5-11: Teilweise gedämmter Dachstuhl über dem Bühnenbereich. ....	85
Abbildung 5-12: Funktionsweise einer dezentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (www.airmaster-as.de, 2022) ....	86
Abbildung 5-13: Beispiel eines PV-Carports (solar-prinz.de).....	90
Abbildung 5-14 Identifizierung geeigneter Standorte für Ladepunkte.....	91
Abbildung 5-15: Prinzip der Wasserstoff-/Methanherstellung der Firma blueFLUX ( <a href="https://www.bluefluxenergy.com/">https://www.bluefluxenergy.com/</a> , 2022) ....	97

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: CO <sub>2</sub> -Äquivalente der jeweiligen Energieträger [kg CO <sub>2</sub> -Äqu./MWh] ( <i>GEMIS 4.94</i> , 2019).....	20
Tabelle 3-1: Übersicht über das noch zur Verfügung stehende PV-Potenzial auf den Dachflächen der Stadt Weilheim. ....	30
Tabelle 3-2: Übersicht über das ST-Potenzial auf den Dachflächen der Stadt Weilheim.....	31
Tabelle 3-3: Berechnungsgrundlage Biogaspotenzial in Weilheim (FNR, 2014).....	37
Tabelle 5-1: Entscheidungsmatrix für Heizsysteme in Ein- und Zweifamilienhäusern. ....	78
Tabelle 5-2: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse des PV-Potenzials auf kommunale Liegenschaften.....	79
Tabelle 5-3: Standortpotenzial erhöhende und senkende Kriterien ( <i>DIN SPEC 91433</i> , 2020).....	88
Tabelle 5-4: Gängige Werte für das Laden von Elektrofahrzeugen. In Klammern ist beispielhaft die Ladezeit eines Renault Zoe mit 41 kWh Batterie bei jeweiliger Ladeleistung dargestellt (DKE et al., 2021; Renault, 2022).....	89
Tabelle 5-5: Detaillierte Beschreibung möglicher Ladepunkte für Weilheim. Die gängigen Ladebetriebsarten werden in Anhang 4 erläutert.....	92
Tabelle 5-7: Übersicht aller Maßnahmen. ....	98
Tabelle 6-1: Energieberatungsangebot der Verbraucherzentrale Bayern. ....	99
Tabelle 6-2: Förderung Sanierung Wohngebäude ( <a href="https://www.energie-fachberater.de/news/beg-em-2022-diese-zuschuesse-gibt-es-fuer-einzelmassnahmen.php">https://www.energie-fachberater.de/news/beg-em-2022-diese-zuschuesse-gibt-es-fuer-einzelmassnahmen.php</a> ) .....	100

## Abkürzungen

ALKIS	<b>A</b> mtliches <b>L</b> iegenschaftskataster <b>i</b> nformationssystem
LWF	<b>B</b> ayerische Landesanstalt für <b>W</b> ald und <b>F</b> orstwirtschaft
BAFA	<b>B</b> undesamt für Wirtschaft und <b>A</b> usfuhrkontrolle
BImSchG	<b>B</b> undesimmissions <b>s</b> chutz <b>g</b> esetz
BSW	<b>B</b> undesverband <b>S</b> olarwirtschaft e.V.
BWE	<b>B</b> undesverband <b>W</b> ind <b>E</b> nergie
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
dena	<b>D</b> eutsche <b>E</b> nergie <b>A</b> gentur
DGS	<b>D</b> eutsche <b>G</b> esellschaft für <b>S</b> onnenenergie e.V.
DWD	<b>D</b> eutscher <b>W</b> etter <b>d</b> ienst
EKO	Energiewende Oberland – Kompetenzzentrum Energie EKO e.V.
ENP	<b>E</b> nergienutzungs <b>p</b> lan
EW	<b>E</b> in <b>w</b> ohner
EWO	<b>E</b> nergiewende <b>O</b> berland
Fm	<b>F</b> est <b>m</b> eter
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GW	<b>G</b> igawatt
GWh	Gigawattstunde
INOLA	Innovationen für ein nachhaltiges Land- und Energiemanagement
KBA	<b>K</b> raftfahrt- <b>B</b> undesamt
KfW	<b>K</b> reditanstalt für <b>W</b> iederaufbau
KU	<b>K</b> ommunal <b>u</b> nternehmen
kW	<b>K</b> ilowatt
kWh	Kilowattstunde
LfL	Bayerische Landesanstalt für <b>L</b> andwirtschaft
LfU	Landesamt für <b>U</b> mweltschutz
LfStat	Bayerisches Landesamt für <b>S</b> tatistik
LMU	Ludwigs- <b>M</b> aximilians- <b>U</b> niversität München
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
MW	<b>M</b> egawatt
MWh	Megawattstunde
PV	<b>P</b> hotovoltaik
SMG	<b>S</b> tandort <b>M</b> arketing <b>G</b> esellschaft Miesbach
Srm	<b>S</b> chüttraum <b>m</b> eter
ST	<b>S</b> olar <b>t</b> hermie
TP	<b>T</b> ier <b>p</b> latz
TUM	<b>T</b> echnische <b>U</b> niversität <b>M</b> ünchen
VDI	<b>V</b> erein <b>D</b> eutscher <b>I</b> ngenieure

## Vorwort

Sehr geehrte Mitbürgerinnen und Mitbürger,

Unsere Stadt Weilheim ist im Jahr 2012 der Bürgerstiftung Energiewende Oberland beigetreten. Somit unterstützt sie das Ziel, bis zum Jahr 2035 unabhängig von fossilen Energieträgern zu werden.

Der Stadtrat hat Weilheim auch zur „Klimaschützenden Stadt“ ausgerufen. Mit diesem Beschluss vom November 2020 erhielten alle Bürgerinnen und Bürger, Wirtschaft, Energieversorger, Politiker und Verwaltung den wichtigen Auftrag sich mit verschiedenen Aspekten des Klimaschutzes und der Energieversorgung zu beschäftigen und ihre jeweiligen Bereiche klimaneutral zu gestalten.

Im Bereich Wärmeversorgung war Holz lange Zeit der einzig verfügbare Brennstoff. Wer Waldbesitzer war, konnte sich und seiner Familie meist eine warme Stube bieten. Die Pechkohle aus der Region war zum Heizen für die Landbevölkerung lange Zeit unerschwinglich. Kälte und Frost waren daher im Winterhalbjahr für viele unserer Vorfahren ständige Begleiter.

Dank der zuverlässigen Versorgung mit Heizöl und Erdgas konnten wir nun seit über 50 Jahren unsere Häuser komfortabel beheizen und haben bei Bedarf jederzeit warmes Wasser zur Verfügung. Doch diese Art der Energieversorgung hat auch große Nachteile, die in ihrer vollen Tragweite allmählich spürbar werden, da durch den Ausstoß von zusätzlichem Kohlendioxid erhebliche Schäden auch unsere Region betreffen.

Die Nutzung der Wasserkraft am Stadtbach ermöglichte bereits vor Einführung der Elektrizität die Entwicklung zahlreicher Handwerksbetriebe.

Die Photovoltaik-Technologie, die erst in den vergangenen 20 Jahren in nennenswertem Umfang genutzt wird, ermöglicht uns in der Stadt Weilheim dezentral und regenerativ Strom für viele Anwendungszwecke zu erzeugen. Ob Hausbesitzer, Mieter, Unternehmer oder Kommune, jeder könnte zumindest zum Teil zum Gelingen der Energiewende beitragen.

Für die Wärmeversorgung stehen ebenfalls regenerative Technologien zur Verfügung, die zukünftig noch stärker genutzt werden müssen. Vor allem hier ist das Einsparpotenzial noch sehr groß und muss dringend angegangen werden.

Mit der Erstellung dieses Energienutzungsplans soll nun der Weg aufgezeigt werden, wie eine nachhaltige Energieversorgung in den Bereichen Wärme und Strom aussehen kann.

Zusammen mit unseren Mitarbeitern/-innen im Rathaus, ansässigen Firmen, Handwerksbetrieben, Bürger/-innen, sowie Vertretern der Forst- und Landwirtschaft wurden vom EWO-Kompetenzzentrum Energie aus Penzberg zahlreiche Ideen gesammelt und Vorschläge erarbeitet, wie die Stadt Weilheim die Energieversorgung nachhaltig sicherstellen kann. Dabei werden Potenziale aus allen fünf regenerativen Energiequellen ermittelt, wobei die Umsetzung von Projekten sicherlich nicht ohne Konflikte erfolgen wird.

Die aktuelle geopolitische Krise sowie der mittlerweile spürbare Klimawandel zeigen uns, dass wir nicht zwischen den regenerativen Energieträgern wählen können, sondern alle nutzen müssen, um zukünftig überhaupt eine bezahlbare und nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen.

Im Stadtrat versuchen wir dies im Rahmen unserer Möglichkeiten bei den kommunalen Liegenschaften zu praktizieren und ermöglichen unseren Stadtwerken einen möglichst großen Handlungsspielraum, um am Energiemarkt aktiv teilzunehmen.

Ich hoffe, nicht nur wir Stadträte, sondern auch zahlreiche Unternehmen, Hauseigentümer und viele Weilheimerinnen und Weilheimer verwenden diesen Energienutzungsplan zur Umsetzung der Energiewende vor Ort.



Karl-Heinz Grehl,  
Referent für Energie, Stadtrat Weilheim i.OB

## 1. Einleitung

Der vorliegende Energienutzungsplan stellt eine umfassende Analyse des Ist-Standes der Energiewende in der Kreisstadt Weilheim dar und erfasst zudem alle auf dem Stadtgebiet vorhandenen und nach derzeitigem Stand der Technik nutzbaren Potenziale erneuerbarer Energieträger für eine nachhaltige Energieversorgung.

Mit diesem Energienutzungsplan erhält die Stadt einen Leitfaden, wie sie die lokale Energiewende weiter vorantreiben kann. Vor allem in der Wärmewende gibt es großen Handlungsbedarf.

Als Tourismusregion steht der Pfaffenwinkel vor der besonderen Herausforderung, die attraktive Landschaft und deren Kommunen naturverträglich zu gestalten und dennoch den Ausbau erneuerbarer Energien voranzutreiben. Hätten die Generationen im vergangenen Jahrhundert jedoch lediglich auf das Bewahren der Ist-Situation bestanden, wäre die Region heute nicht so gut erschlossen und damit wirtschaftlich wesentlich schwächer. Gerade bei der zukünftigen Gestaltung von Gebäuden wird die Energiewende sichtbar sein, zudem können eine gute Energieinfrastruktur und zukunftsorientierte Versorgungskonzepte die Attraktivität der Region weiter steigern.

Um die mit der Energiewende einhergehenden Veränderungen abzustimmen, wurden die Maßnahmenvorschläge im Stadtgebiet in Zusammenarbeit mit zahlreichen lokalen Akteuren erstellt. Daraus entstehen besonders wichtige Bausteine bei der Konzeptentwicklung.

Ferner enthält dieses Konzept Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sowohl für den Ausbau erneuerbarer Energien in Weilheim als auch für die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen. Dabei gilt es neben den betriebswirtschaftlichen Kriterien auch die Ausstrahlungseffekte auf die kommunale und regionale Wertschöpfung mit zu berücksichtigen, die bei der Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung generiert werden. Immer dort wo möglich, wurden die Ergebnisse des Energienutzungsplanes durch Karten- oder Diagrammdarstellungen visualisiert, um die Ergebnisse anschaulich zu vermitteln.

## 1.1 Ausgangslage

Klimaschutz und Energiewende auf kommunaler Ebene sind eng verzahnt mit den naturräumlichen sowie den sozioökonomischen Gegebenheiten der Region. Eine wichtige Arbeitsgrundlage für den Energienutzungsplan der Stadt Weilheim ist deshalb die Erfassung folgender Rahmendaten:

- Demographie
- Siedlungs- und Gebäudestruktur
- Natur- und Landschaftsschutz
- Klimatische Rahmenbedingungen

Diesen Kapiteln vorangestellt ist eine kurze Übersicht über die Stadt Weilheim i. OB.

### 1.1 Übersicht Weilheim i. OB

Die Kreisstadt Weilheim liegt zwischen München und Garmisch-Partenkirchen im Pfaffenwinkel. Durch die Stadt des Alpenvorlandes fließt die Ammer, ein Zulauf der Isar, welcher nördlich von Weilheim in den gleichnamigen See mündet.

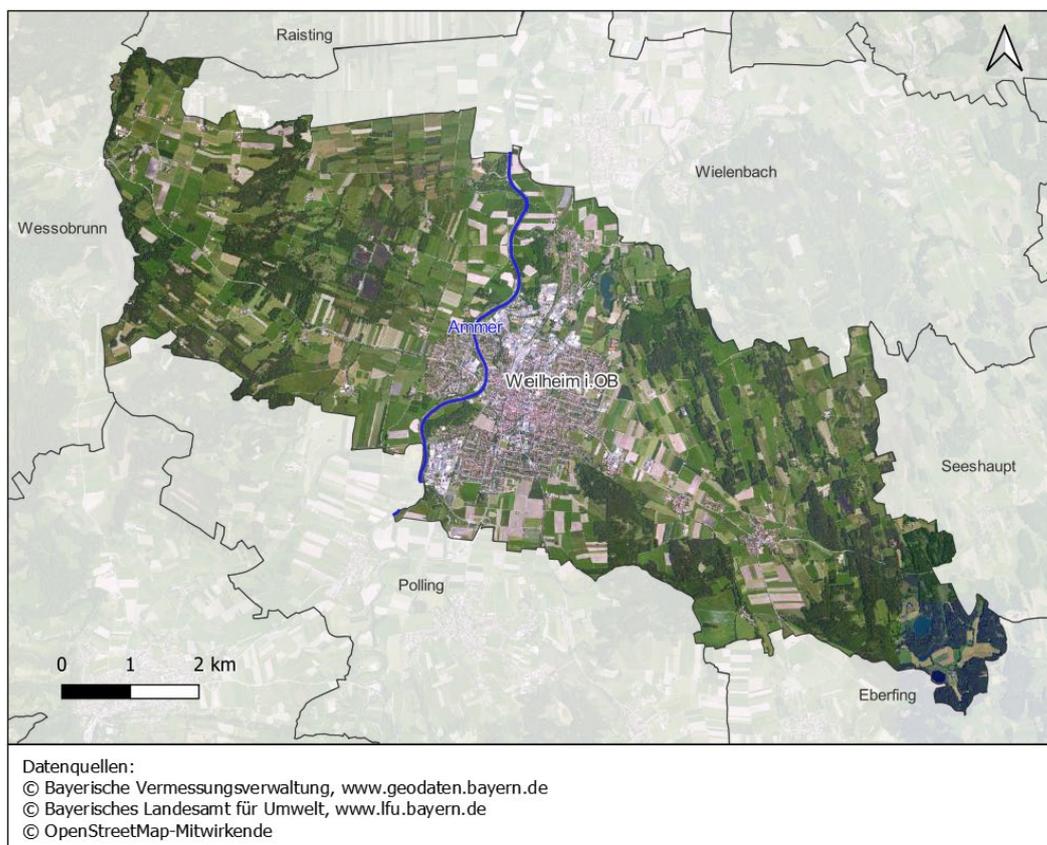


Abbildung 1-1: Übersicht über das Stadtgebiet von Weilheim i. OB.

Durch die geographische Bindung an die Voralpen beruht die landschaftliche Form auf Prozessen der letzten Eiszeit. Jungmoränen der Würm-Eiszeit prägen das Landschaftsbild

rund um das Becken in Weilheim. Aus geologischer Sicht beinhaltet das Gebiet ebenfalls Flussschotter und -sand der letzten Eiszeit. Die Gesamtfläche beträgt 55,5 km<sup>2</sup>, wovon gut die Hälfte landwirtschaftlich genutzt wird (Abbildung 1-1). Die besiedelte Fläche von 11,5 % beschränkt sich bis auf einzelne kleinere Ansiedlungen stark auf das zentrale Untersuchungsgebiet (LfStat 2021d). Nachbarkommunen sind Wessobrunn, Raisting, Wielenbach, Seeshaupt, Eberfing und Polling.

## 1.2 Demographie

In Weilheim leben aktuell 22.727 Einwohner (EW) (Stand: 31.12.2020). Das entspricht einer Bevölkerungsdichte von 409,5 EW/km<sup>2</sup>. Wie Abbildung 1-2 verdeutlicht, ist die Bevölkerungszahl in den letzten Jahrzehnten stetig und stark gewachsen (LfStat, 2021b). Im Vergleich zu 1960 hat sich die Anzahl der Einwohner in Weilheim um knapp 10.000 erhöht. Unter Annahme der Bevölkerungsvorausberechnung des Landesamtes für Statistik für den Landkreis Weilheim-Schongau (+3,2 %) ist mit einem Anstieg der Einwohnerzahlen bis zum Jahr 2035 auf 23.454 EW zu rechnen (LfStat, 2021c).

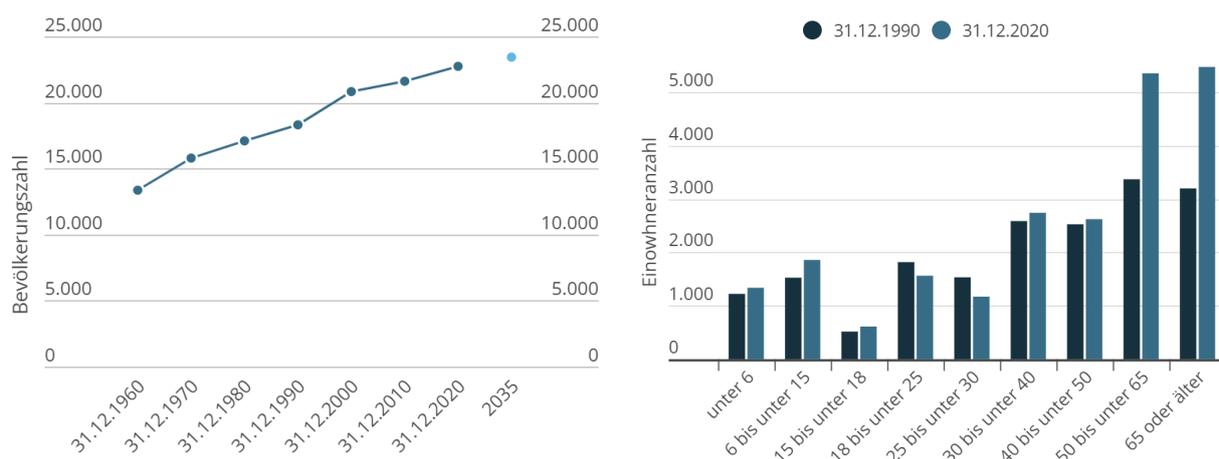


Abbildung 1-2: Entwicklung der Bevölkerungszahl 1960-2020 und Vorausberechnung für das Jahr 2035 (links) und Bevölkerung nach Altersgruppen 1990 und 2020 (rechts).

Auch in der Altersstruktur der Bevölkerung kann beim Vergleich der Jahre 1990 und 2020 ein Wandel festgestellt werden. Wie Abbildung 1-2 darstellt, ist für die Altersgruppen bis 18 Jahren und ab 30 Jahren ein Anstieg zu verzeichnen, für die Altersgruppen zwischen 18 – 30 nimmt die Einwohnerzahl ab. Die Klassen „50 bis unter 65“ und „65 oder älter“ hingegen stellen nicht nur die mit Abstand stärkste Bevölkerungsgruppen, sondern verzeichnen zusätzlich den prozentual größten Anstieg zum Vergleichsjahr 1990 (LfStat 2021a).

Sowohl das zu erwartende Bevölkerungswachstum als auch der demographische Wandel sind in Bezug auf die Entwicklung von zukünftigen Szenarien oder Kampagnen zu berücksichtigen.

sichtigen. Nicht nur wird sich dadurch der Energiebedarf verändern, auch die Zielaltersgruppen und das Entscheidungsverhalten von Akteuren, beispielsweise bei der Gebäudesanierung oder beim Einsatz neuer Technologien, können sich verschieben.

### 1.3 Wirtschaft und Flächennutzung

Die Beschäftigungsquote der Stadt Weilheim beträgt 45,9 % (Stand 30.06.2019) und liegt demnach deutlich höher als die Quote des Landkreises Weilheim-Schongau (35,4 %) (LfStat, 2021f). Mit Stand vom 30.06.2019 sind in der Stadt Weilheim 10.357 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte gemeldet.

Öffentliche und private Dienstleister stellen mit einem Anteil von 31,0 % den dominierenden Wirtschaftssektor der Beschäftigten in Weilheim. Dieser hohe Anteil im Vergleich zu naheliegenden Gemeinden ist auf die strukturelle Relevanz als Kreisstadt zurückzuführen, welche viele Dienstleister als Standort bevorzugen. Den zweitgrößten Sektor bildet der Handel, Verkehr und das Gastgewerbe mit einem Beschäftigungsanteil von 25,7 %. 19,5 % der Arbeitnehmer in Weilheim arbeiten in der Unternehmensdienstleistung, zudem sind 23,4 % im produzierenden Gewerbe tätig. Komplementiert wird die Beschäftigungsstatistik mit dem Land- und Forstwirtschaftssektor, welcher lediglich 0,4 % ausmacht.

Einer der größten Hebel für die Energiewende den die Stadt selbst in der Hand hat, sind ihre eigenen **kommunalen Liegenschaften**. In zahlreichen Bildungs- und Betreuungseinrichtungen, wozu u.a. die zwei Grundschulen, die Mittelschule, Kitas und Kindergärten zählen, ergeben sich energetische Handlungsmöglichkeiten, welche im unmittelbaren Wirkungsbereich der Stadtverwaltung liegen. Dort kann die Stadt beispielsweise durch gezielte Sanierungsmaßnahmen, effiziente und erneuerbare Energieversorgung oder Energieerzeugungsanlagen als Vorbild voranschreiten.

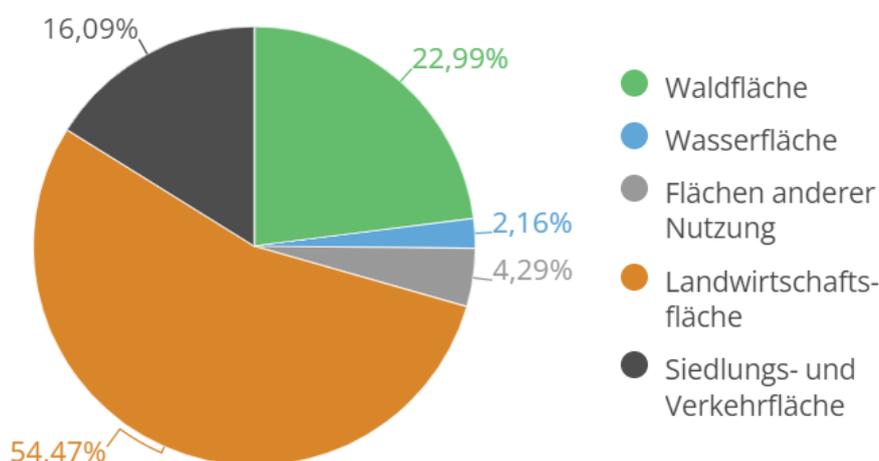


Abbildung 1-3: Übersicht der Flächennutzung gemäß amtlichem Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) in Weilheim (Daten: LfStat, 2021c).

Betrachtet man die **Flächennutzung** (Abbildung 1-3) des gesamten Stadtgebietes so zeigt sich, dass die Siedlungs- und Verkehrsflächen 16 % der Gesamtfläche ausmachen. Landwirtschaftsflächen (54 %) und Waldflächen (23 %) nehmen den größten Anteil ein. Mit etwa zwei Prozent machen Wasserflächen nur einen kleinen Anteil aus. Die restlichen vier Prozent der Stadfläche wird anderer Nutzung zugeschrieben. Unter Anbetracht der abnehmenden Zahl an landwirtschaftlichen Betrieben werden sich auch Kulturlandschaft und Flächennutzung verändern (LfStat, 2021d). Im Zuge dessen entstehen möglicherweise Flächen, welche unter nachhaltigen Gesichtspunkten für die Erzeugung erneuerbarer Energien genutzt werden können.

Auch die **Wohnbebauung** hat in Weilheim in den letzten Jahrzehnten zugenommen (Abbildung 1-4). Wohnfläche und Anzahl der Wohngebäude haben sich nahezu kontinuierlich erhöht. Gleichzeitig steigt die Wohnfläche pro Einwohner, was auf die Zunahme der Einpersonenhaushalte und der zunehmenden Versorgung mit Eigenheimen in Verbindung mit der Tendenz, diese auch im Alter bei schrumpfender Haushaltsgröße beizubehalten, zurückzuführen ist. Heute existieren in Weilheim insgesamt 5.197 Wohngebäude mit einer Gesamtwohnfläche von über 1.020.047 m<sup>2</sup> (LfStat, 2021e). Unter Annahme einer weiter steigenden Bevölkerungszahl ist ebenso von einer weiteren Zunahme des Verhältnisses der Wohnfläche zur Einwohnerzahl auszugehen. Prinzipiell ist damit auch eine Erhöhung des Heizwärmebedarfes pro Einwohner (EW) verbunden. Diese Größen sind für den vorliegenden Energienutzungsplan insbesondere bei der Ermittlung von Einsparmöglichkeiten im Wärmebereich relevant (vgl. Kapitel 3.1.1).

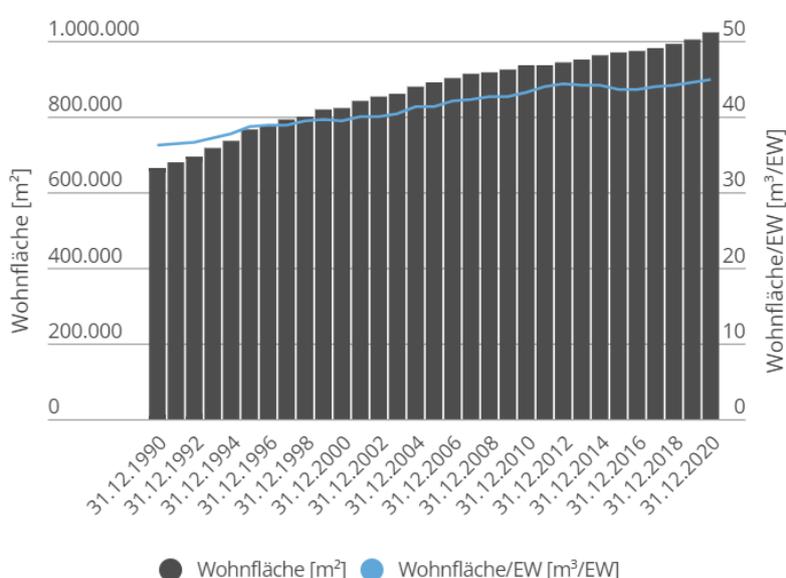


Abbildung 1-4: Entwicklung der Wohnfläche in Weilheim (Daten: LfStat, 2021d).

## 1.4 Natur und Landschaftsschutz

Der Ausbau erneuerbarer Energien benötigt i.d.R. Flächen und ist oftmals mit Eingriffen in das Landschaftsbild und in die Kulturlandschaft verbunden. Bei der Erarbeitung des vorliegenden Energienutzungsplanes wurde deshalb besonders Wert daraufgelegt, dass bei der Ermittlung von erneuerbaren Energiepotenzialen oder bei der Entwicklung von Maßnahmevorschlägen die Nutzungsrestriktionen in den verschiedenen rechtsverbindlichen Schutzgebietskategorien (z.B. Natur- oder Wasserschutzgebiete) berücksichtigt werden.

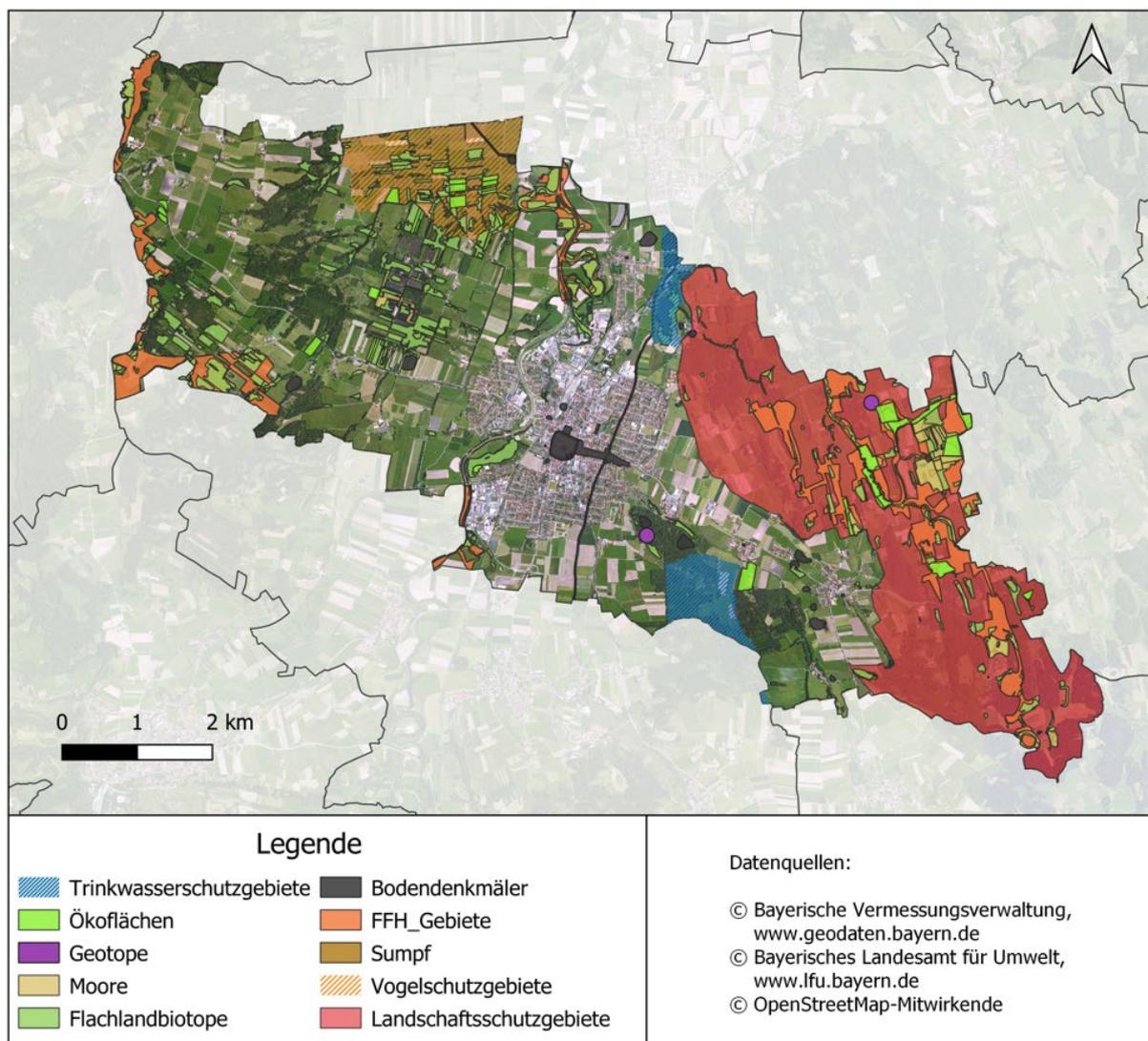


Abbildung 1-5: Darstellung aller Schutzgebietskategorien in Weilheim.

Wie die Übersicht über die Lage aller Schutzgebiete in Weilheim in Abbildung 1-5 zeigt, existieren auf Weilheimer Flur zahlreiche wertvolle und damit besonders schützenswerte Flächen. Das flächenmäßig größte ist das Landschaftsschutzgebiet im Osten des Stadtgebietes. Zudem befinden sich in Weilheim mehrere kleinere FFH-Gebiete und Flachlandbiotope. Kleiner ausgeprägte Moor- und Ökoflächen schließen sich in manchen Teilen an diese Gebiete an. Im Norden befindet sich ein Vogelschutzgebiet. Im Norden und Süden

von Weilheim werden die zwei vorhandenen Trinkwasserschutzgebiete in blau eingefärbt dargestellt. Desweiteren sind vereinzelt Bodendenkmälern, Sumpfgebiete und zwei Geotope vorhanden.

## 1.5 Klima

Die klimatischen Rahmenbedingungen haben entscheidenden Einfluss auf den Heizenergiebedarf jeder Kommune sowie auf die meisten Potenziale für erneuerbare Energien, wie z.B. Sonne, Wind und Bioenergie. Im Folgenden werden daher die für den Energienutzungsplan wichtigsten Klimadaten und projizierten Klimaänderungen anhand der Daten des Observatoriums Hohenpeißenberg dargestellt. Wie aus Abbildung 1-6 hervorgeht, sind bereits deutliche Anstiege der Monatsmitteltemperaturen zu beobachten. Die Werte der Messdatenreihe 1991-2020 liegen (mit Ausnahme in den Herbstmonaten) um 1-2°C über denen des Zeitraums 1961-1990. Während das langjährige Mittel der Lufttemperatur 1961-1990 bei 6,5 °C lag, stieg die Jahresmitteltemperatur in den vergangenen Jahren bereits über 8,0 °C (DWD, 2022a). Die Sonnenscheindauer in Weilheim beträgt im Mittel rund 1.842 h/a, bei einer Globalstrahlung von 1.171 kWh/m<sup>2</sup> im Jahresmittel (DWD, 2022b; LfU, 2022b)

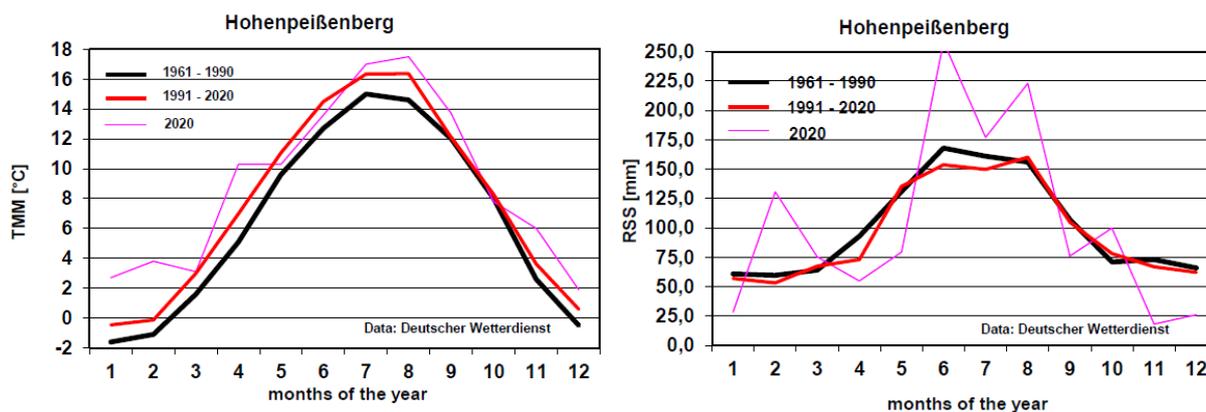
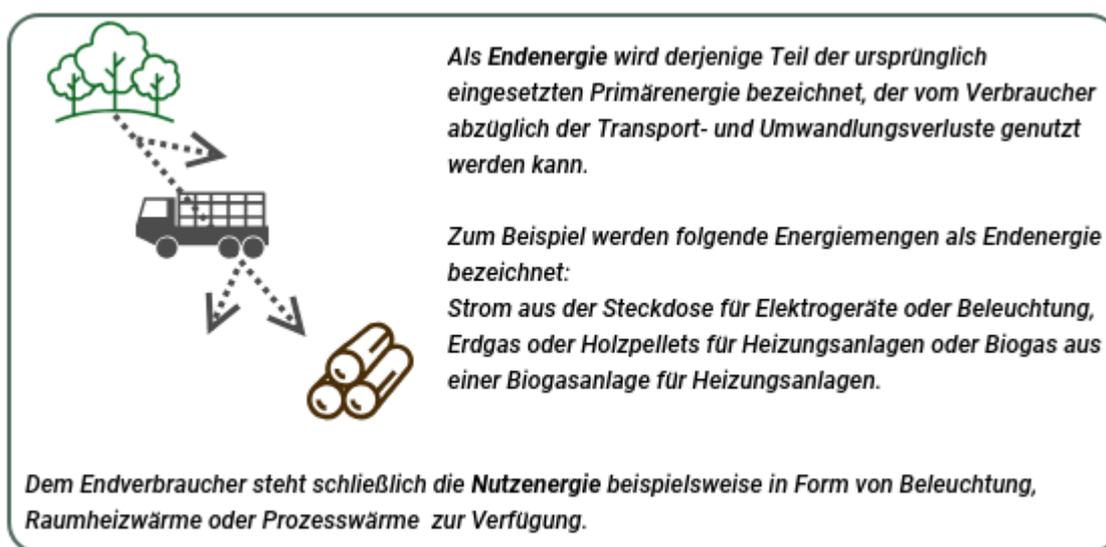


Abbildung 1-6: Monatsmitteltemperaturen (links) und mittlerer Monatsniederschlags (rechts) 1961-1990 und 1991-2020. Datengrundlage: Monatsmittelwerte Observatorium Hohenpeißenberg, DWD (Emeis, 2022).

Die Jahresniederschlagsmengen liegen in Weilheim im langjährigen Mittel bei 1.180 mm pro Jahr (DWD, 2022b). Aus regionalen Messdaten können derzeit noch keine signifikanten Veränderungen bei den Niederschlagsmengen festgestellt werden, aus dem Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2000 ist eine geringe Abnahme der mittleren Monatsniederschläge im April, Juni und Juli zu erkennen (Abbildung 1-6). Im Allgemeinen ist in Folge des Klimawandels in Zukunft mit länger anhaltenden Wetterlagen, welche sich in Dürre oder Überschwemmungen auswirken können und einer Zunahme von Extremereignissen beispielsweise in Form von Starkniederschlägen zu rechnen. Die Monatsmittelwerte des Jahres 2020 in Abbildung 1-6 zeigen eindrücklich starke Abweichungen von den langjährigen Durchschnittswerten.

## 2 Bestandsanalyse

Das Ziel des Energienutzungsplanes Weilheim ist die Entwicklung eines ganzheitlichen und nachhaltigen Gesamtkonzepts für die Entwicklung einer Energiestrategie auf kommunaler Ebene. Ist bekannt inwiefern Energiebedarf und -erzeugung sowie die Energiepotenziale räumlich und zeitlich zusammenhängen, kann im nächsten Schritt ein ganzheitliches Konzept gestaltet werden, welches die Rahmenbedingungen, Handlungsmöglichkeiten und Erfordernisse der Stadt individuell berücksichtigt. Bei der Erstellung der Bestandsanalyse wurden insbesondere die Vorgaben aus dem „Leitfaden Energienutzungsplan“ berücksichtigt (StMUG et al. 2011).



Die Analyse der Energieverbräuche nach Nutzungsart – Strom, Wärme und Treibstoffe - bildet eine wichtige Grundlage für die Priorisierung von Maßnahmen, welche anschließend in die Konzeptentwicklung einfließen. Die folgende Bestandsanalyse bezieht sich dabei stets auf Endenergieverbräuche bzw. die Bereitstellung von Endenergie.

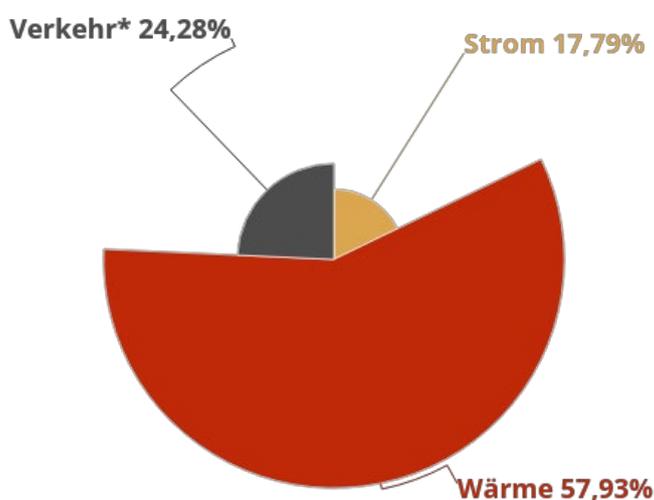


Abbildung 2-1: Endenergieverbrauch nach Sektoren: Mobilität, Strom, Wärme. \* regionale Daten hochgerechnet durch IFEU (*Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022*).

Aus Abbildung 2-1 wird deutlich, dass in Summe in Weilheim über die Hälfte der Endenergie zur Bereitstellung von Wärme benötigt wird. Rund 18 % entfallen auf den Verbrauch elektrischer Energie. Der zweitgrößte Anteil ist mit 24 % am Gesamtendenergiebedarf durch den Verbrauch von Treibstoffen (Benzin und Diesel) dem Sektor Verkehr zuzuordnen.

Die energieintensiven Gewerbebetriebe spiegeln sich auch in der Aufteilung der Endenergieverbräuche nach Verbrauchssektoren wider (Abbildung 2-2). Gut 50 % der verbrauchten Endenergie in Form von Strom und Wärme werden durch diese verbraucht. Auf die privaten Haushalte entfallen 18,5 %, auf die Industriebetriebe (gem. BSKO-Standard Betriebe des produzierenden Gewerbes mit mehr als 20 Beschäftigten) 2 % und auf die kommunalen Liegenschaften etwa 1 %. Auf den Verkehr entfallen etwa 24 % des Endenergieverbrauchs durch Kraftstoffe.

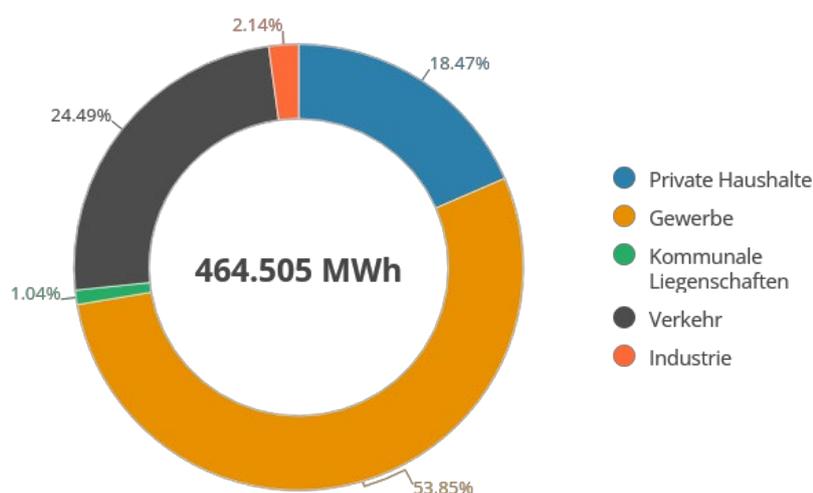


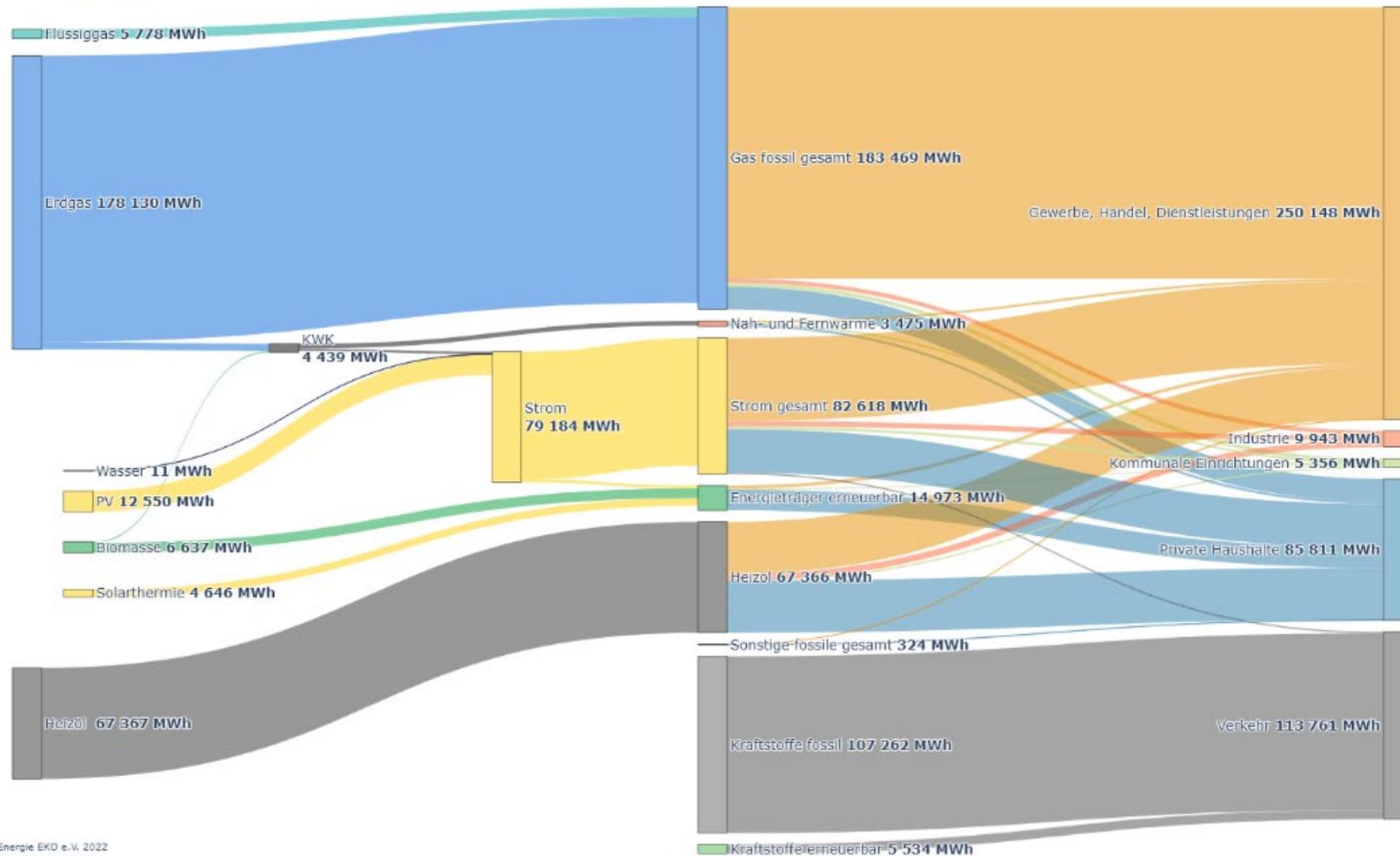
Abbildung 2-2: Endenergiebilanz nach Verbrauchssektoren im Jahr 2019 in Weilheim (*Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022*).

Bei einem gleichbleibenden Anstieg des motorisierten Individualverkehrs ist davon auszugehen, dass sich in Weilheim der verkehrsbedingte Anteil am Endenergieverbrauch entsprechend erhöhen wird. Neben der Verkehrsvermeidung ist E-Mobilität derzeit eine vielversprechende Option den verkehrsbedingten Ausstoß von Treibhausgasen, Stickoxiden und Feinstaub zu reduzieren - vorausgesetzt, der Strom für die E-Fahrzeuge wird aus erneuerbaren Energien erzeugt. Weitergehende Analysen und Konzeptentwicklungen im Bereich Verkehr können durch die Erstellung von Mobilitätskonzepten erfolgen. Abgesehen von E-Mobilität in direkter Verbindung mit erneuerbaren Energien ist Mobilität nicht Teil dieses Energienutzungsplanes.

Insgesamt lag der Endenergiebedarf in Weilheim im Jahr 2019 bei 465,02 GWh. Eine Darstellung der Energieflüsse nach Energieträger und Verbrauchssektoren ist in Abbildung 2-3 zu sehen.

### Energiefluss Stadt Weilheim 2019

Endenergiebedarf gesamt: **465.02 GWh**



© EWO-Kompetenzzentrum Energie EKO e.V. 2022

Abbildung 2-3: Energieflussschema der Stadt Weilheim

## 2.1 Strom

### Stromverbrauch

Die aktuellen Zahlen zum Netzabsatz in Weilheim liegen für das Jahr 2019 vor. Demnach beläuft sich der Gesamtnetzabsatz auf 82.619 MWh (Bayernwerk, 2019b). Pro Einwohner (EW) entspricht dies einem Verbrauch von 3.660 kWh pro Jahr. Gelingt der von der Bundesregierung im Bereich der Mobilität angestrebte Umstieg vom Verbrennungs- zum E-Motor, muss perspektivisch mit einem steigenden Stromverbrauch gerechnet werden. Aus Abbildung 2-4 ist zu erkennen, dass die Gewerbebetriebe mit knapp 70 % den Hauptanteil des Netzabsatzes ausmachen. Neben den vielen Tourismusbetrieben in Weilheim sind in diese ebenfalls die land- und forstwirtschaftlichen Betriebe eingeschlossen. Rund 24 % werden durch die privaten Haushalte verbraucht. Die Straßenbeleuchtung trägt mit 0,5 % zum Stromverbrauch in Weilheim bei. Zusätzliche 0,3 % entfallen auf die kommunalen Liegenschaften. Die restlichen Anteile entfallen auf die Bereitstellung von Wärme durch Wärmepumpen, Direktheizungen oder Nachtspeicherheizungen.

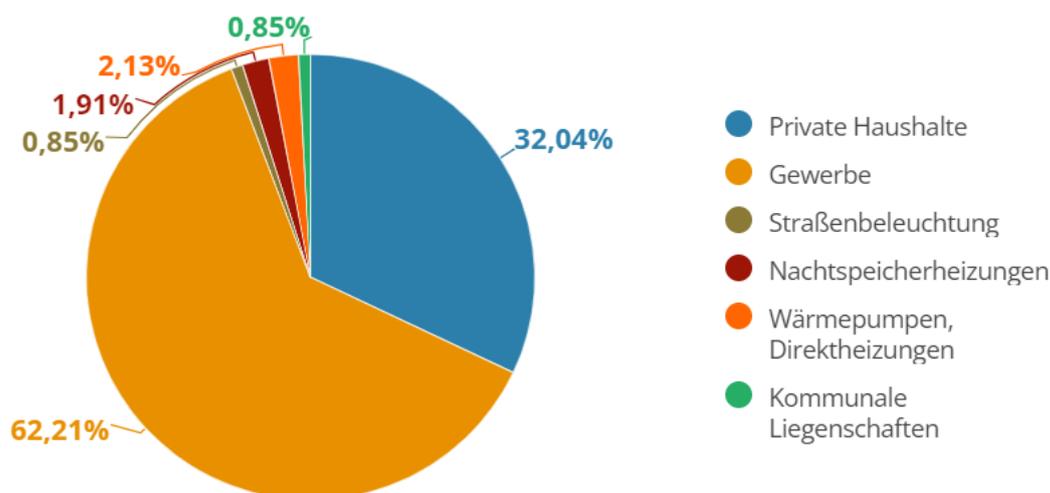


Abbildung 2-4: Aufteilung des Netzabsatzes in Weilheim nach Sektoren im Jahr 2019 (Bayernwerk, 2019b).

### Stromerzeugung

Im Jahr 2019 wurden in der Kreisstadt Weilheim durch Wasserkraft-, PV-, Biomasse- und BHKW-Anlagen Strom erzeugt. Vor Ort konnten 14.773 MWh Strom ins Netz eingespeist werden, 13.293 MWh davon aus den regenerativen Erzeugungsanlagen. In Relation zum Gesamtstromverbrauch entspricht dies einer Deckung von 16 % durch vor Ort erzeugten erneuerbaren Strom (Abbildung 2-5). Zählt man die Erzeugung aus BHKWs hinzu, beträgt die bilanzielle Deckung knapp 18 %. Der größte Anteil davon wird durch die Photovoltaik Anlagen erzeugt. Die Anlagen auf den Dächern der Kläranlage, des Stadtwerke-Neubaus, des Hochbehälters Marnbach, der Tennishalle und des Parkplatzes am Öferl tragen zusammen mit den auf privaten Wohngebäuden installierten Photovoltaikanlagen zu 85 %

des vor Ort produzierten Stroms bei. Noch nicht in der Bilanz enthalten sind die PV-Anlagen auf dem Dach des 2021 eingeweihten Neubaus der Berufsschule, die ebenfalls überschüssigen Strom ins Netz einspeist. Weitere 5 % regenerativ erzeugter Strom werden in Biomasseanlagen und 1 % durch Wasserkraft erzeugt (Bayernwerk, 2019a). In der Kläranlage wird zudem das dort gewonnene Klärgas in einem BHKW zur Stromgewinnung eingesetzt. Der dort erzeugte Strom wird von der Kläranlage verbraucht und nicht ins öffentliche Netz eingespeist.

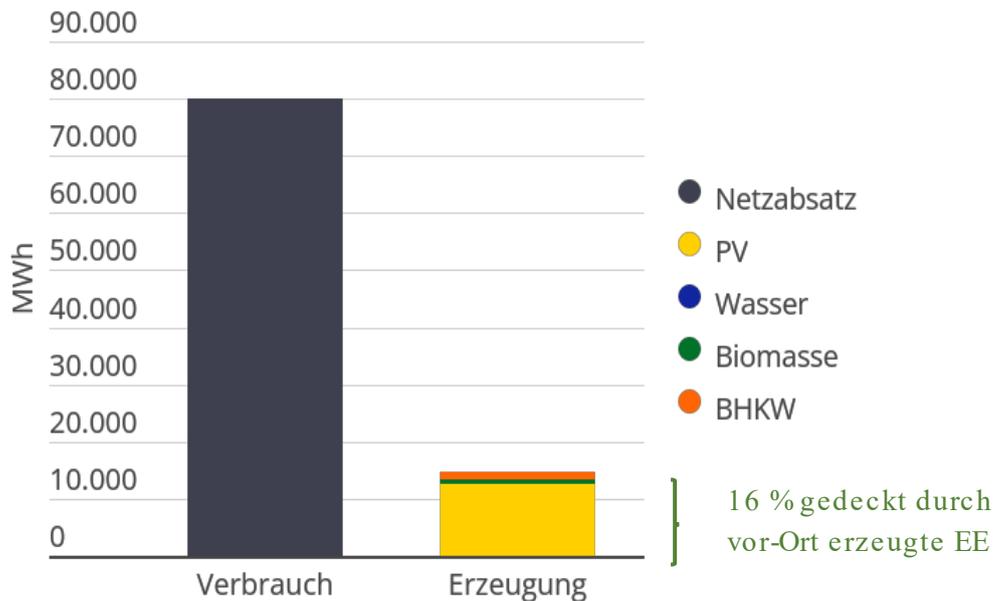


Abbildung 2-5: Gegenüberstellung von Netzbezug (links) und -einspeisung sowie die Zusammensetzung der Energieträger (rechts) (Bayernwerk, 2019a, 2019b).

Aufgrund von tages- und jahreszeitlich bedingten Schwankungen bei der erneuerbaren Energieproduktion vor allem bei der Photovoltaik kann der Deckungsgrad allerdings stark variieren. Die restlichen 10 % des vor Ort erzeugten Stroms wurden mittels BHKW's produziert, welche zwar sehr effizient jedoch mit der nicht-erneuerbaren Energiequelle Erdgas betrieben werden.

Abbildung 2-6 zeigt die Einspeisemengen der unterschiedlichen Energieträger über die Jahre 2016 bis 2020. Demnach erfolgte in den vergangenen Jahren ein erkennbarer Zubau an Photovoltaikanlagen in Weilheim, während es bei anderen erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen keinen nennenswerten Zuwachs gab.

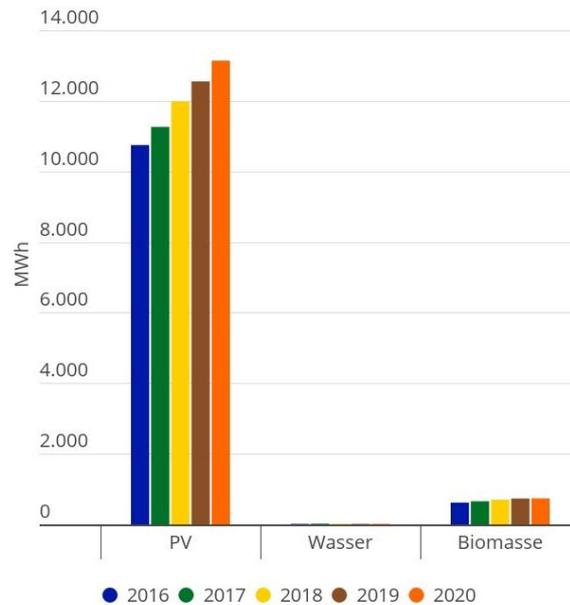


Abbildung 2-6: Einspeisemengen nach Erzeugungstyp 2015-2018 (Bayerwerk, 2019a)

Zur räumlichen Verortung aller regenerativen Stromerzeugungsanlagen wurden zusätzlich die im Energie-Atlas Bayern (LfU, 2022a) veröffentlichten Zahlen über die Einspeisung von regenerativen Stromquellen herangezogen (Abbildung 2-7). In diesem Register werden alle Anlagen mit EEG-Vergütung adressgenau erfasst und zur Darstellung aus Gründen des Datenschutzes in Cluster zusammengefasst.

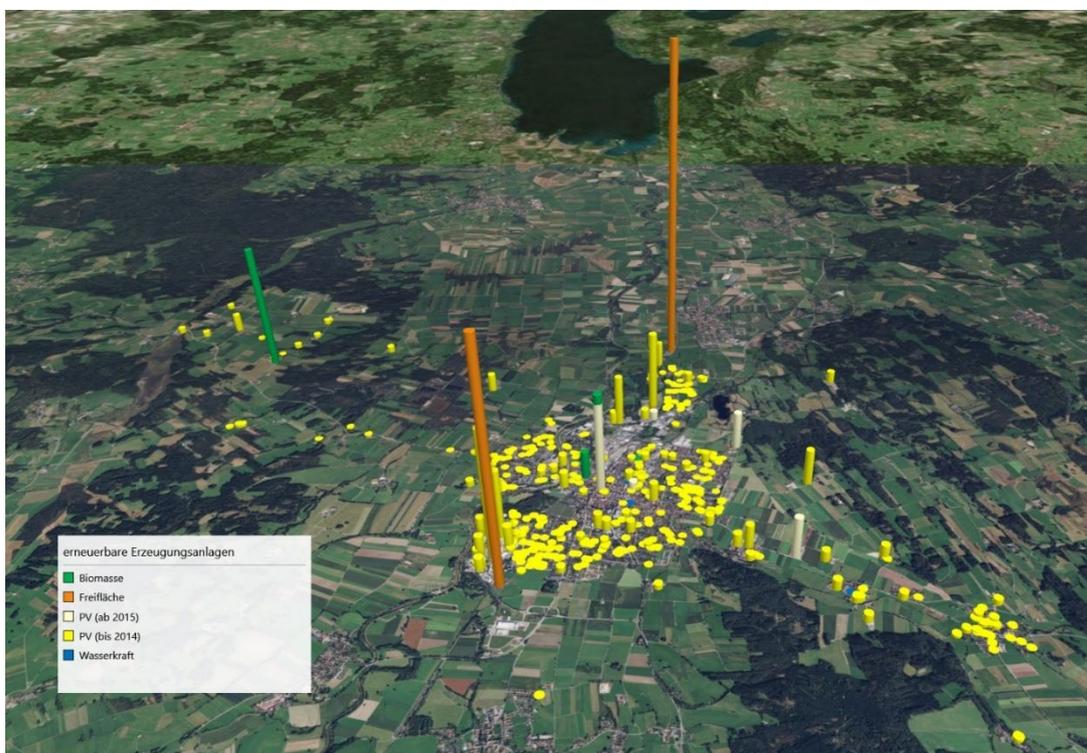


Abbildung 2-7: Räumliche Darstellung der bestehenden erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen (Strom) in Weilheim. Die Höhe der Balken orientiert sich an der installierten Anlagenleistung (LfU, 2022a). Kartenbasis: © BingMaps.

Über Weilheimer Flur verlaufen sowohl Mittel- als auch Hochspannungsleitungen. In Abbildung 2-8 werden diese kartographisch dargestellt. Zudem befindet sich im Osten des Stadtgebietes ein Umspannungswerk. Die Mittelspannungsleitungen weisen insgesamt eine Länge von 28,63 km auf. Die 110-kV-Leitungen addieren sich zu 12,97 km.

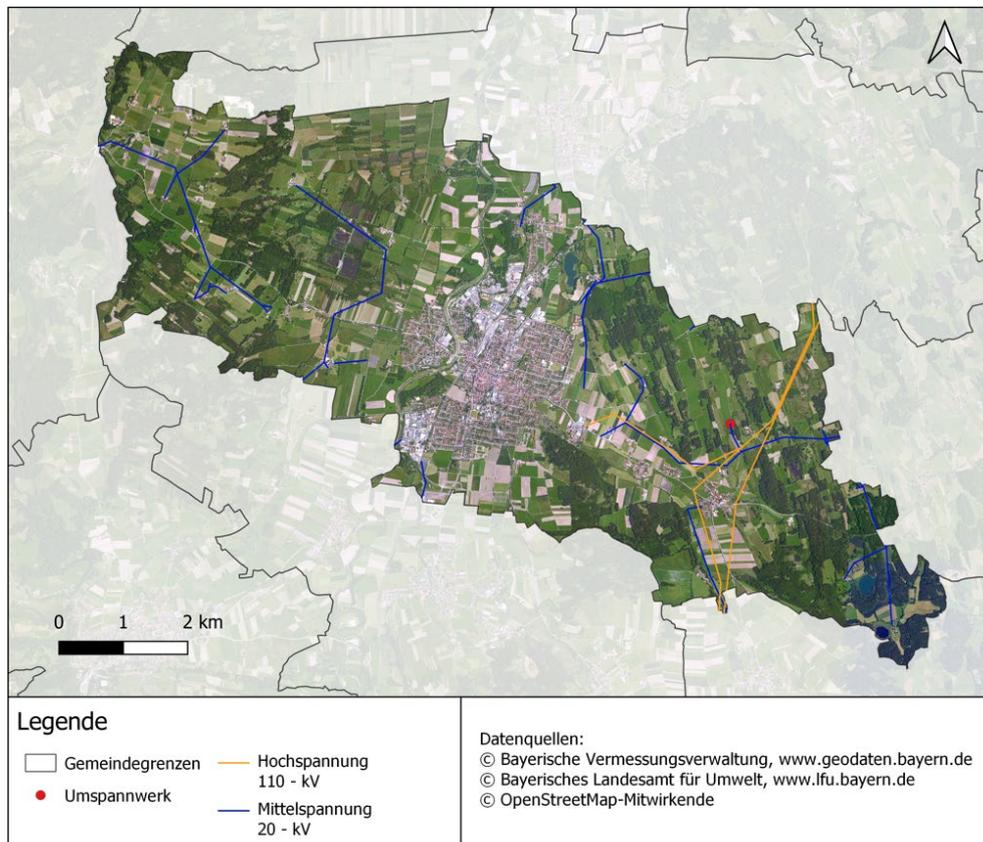


Abbildung 2-8: Stromnetz: Verlauf der Mittel- und Hochspannungsleitungen in Weilheim.

## 2.2 Wärme

### Wärmebedarf

Zur Deckung des gesamten Wärmebedarfs in Weilheim werden pro Jahr 269.600 MWh Endenergie benötigt (*Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim*, 2022). Damit ist dieser fast 3,5-mal so hoch wie der Endenergiebedarf in Form von Strom.

Den benötigten Wärmebedarf zu reduzieren und den verbleibenden Anteil durch erneuerbare Energien zu decken ist folglich entscheidend, um sich weiter in Richtung Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern zu entwickeln.

Aufgrund der Bedeutung Weilheims als Wirtschaftsstandort mit rund 2.500 gewerblichen Betrieben und etwa 10.000 Beschäftigten sind die größten Energieverbraucher auf dem Stadtgebiet dem Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung zuzuordnen. Auf diesen Sektor entfallen mehr als 93 % des gesamten Erdgasverbrauchs bzw. 74 % des Gesamtwärmebedarfs.

Kenntnisse über den Gebäudebestand und ein gebäudescharfes Wärmekataster sind eine wichtige Ausgangsbasis des vorliegenden Energienutzungsplans. Sie liefern die Grundlage für die Energiebilanzen und die Ermittlung der Potenziale, sowohl zur Erzeugung erneuerbarer Energien als auch zur Energieeinsparung durch energetische Gebäudesanierung. Zudem dient das Wärmekataster als Basis für die Entwicklung möglicher Umsetzungsprojekte, wie beispielsweise Nah- oder Fernwärmenetze.

Die räumliche Verteilung des Wärmebedarfs wird in Abbildung 2-9 durch die Wärmebedarfsdichte visualisiert. Ein besonders hoher Wärmebedarf besteht rund um den dicht bebauten Stadtkern von Weilheim zwischen Marienplatz und Rathausplatz. Weitere Bereiche mit hohen Wärmebedarfsdichten sind das Gebiet rund um die ehemalige staatliche Berufsschule, die Realschule bzw. das Gymnasium mit benachbartem Hallenbad, sowie die Gewerbegebiete „Trifthof“, „Paradeis / Leprosenweg / Am Öferl“ und „Am Weidenbach“.

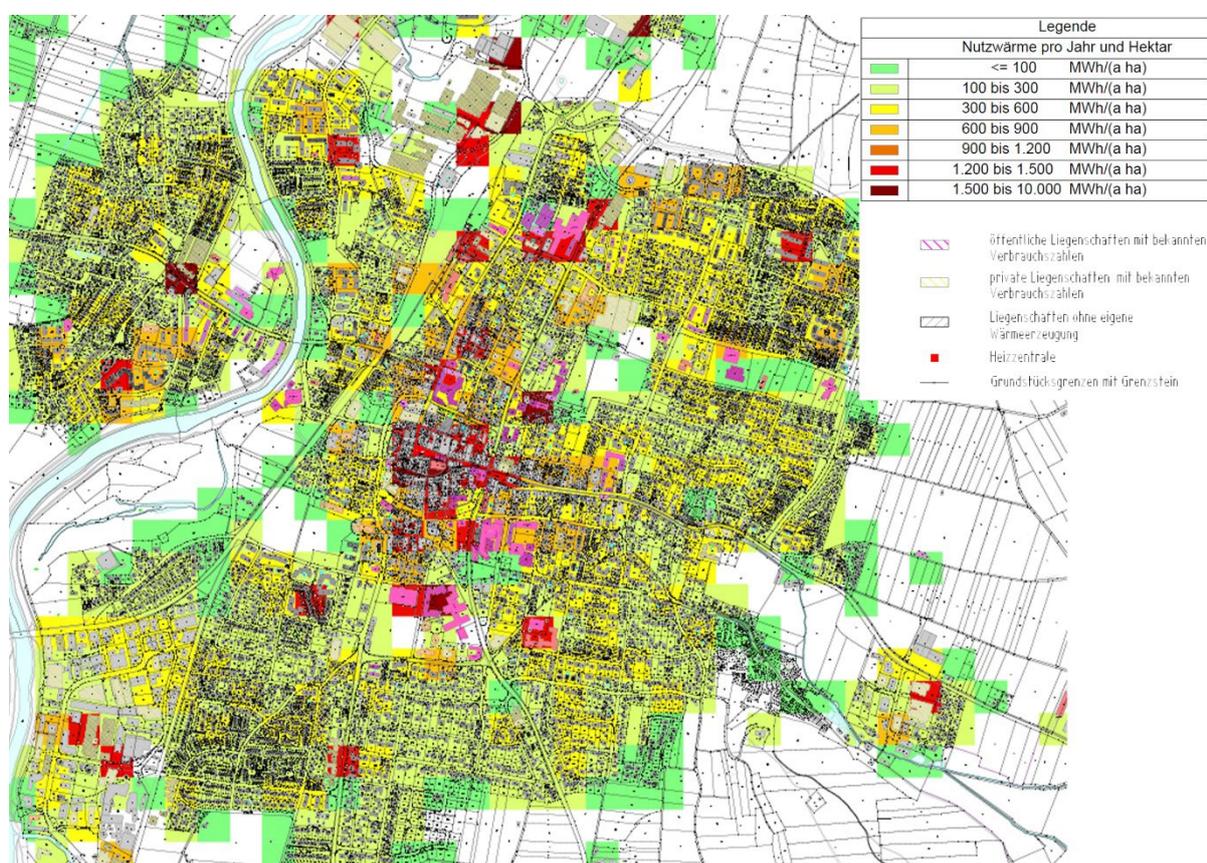


Abbildung 2-9 Wärmedichtekarte der Kreisstadt Weilheim (Ingenieurbüro S. Sendl, 2022).

Im Hauptsiedlungsgebiet von Weilheim gibt es rund 5.950 Gebäude mit Wärmeerzeugung. Für diesen Bereich wurde ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt. Abbildung 2-10 zeigt davon einen exemplarischen Ausschnitt. Mit Hilfe von Begehungen und verschiedenen bauphysikalischen Kenngrößen sowie Informationen zur Gebäudenutzung und der Baualterstruktur wurde für jedes Bestandsgebäude der spezifische Jahreswärmebedarf

ermittelt (Nutzenergie). Dieser setzt sich zusammen aus dem jeweiligen Heiz- und Warmwasserbedarf. Basierend auf der gebäudescharfen Bedarfserhebung wird anschließend die Wärmedichte ermittelt. Diese wird in Rastern mit jeweils einer Fläche von einem Hektar dargestellt (Abbildung 2-9). Die farbliche Markierung stellt den Bedarf an Nutzwärme in MWh pro Jahr dar. So wird sichtbar, in welchen Bereichen es wirtschaftlich sinnvoll sein kann, mehrere Gebäude mit einer gemeinsamen Heizanlage zu versorgen.

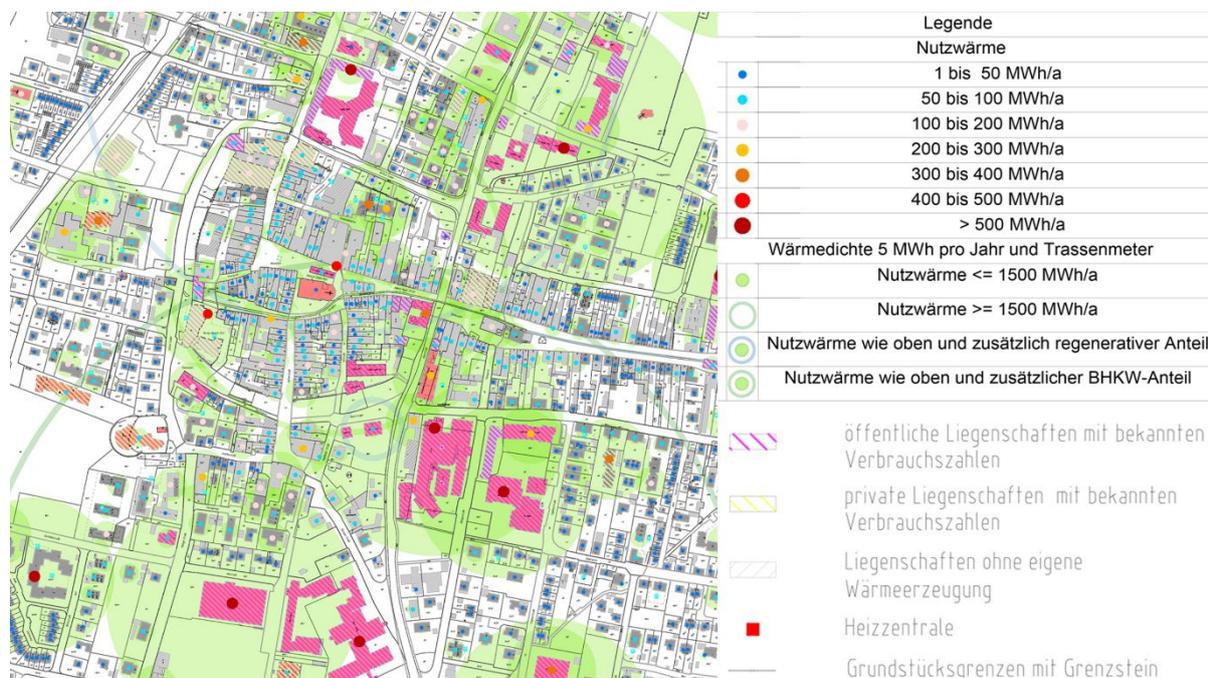


Abbildung 2-10: Exemplarischer Ausschnitt aus dem gebäudescharfen Wärmekataster von Weilheim [kWh/a]. (Ingenieurbüro S. Sendl, 2022)

### Wärmeerzeugung

Im Jahr 2019 konnten 5,56 % des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden. Den größten Anteil mit rund 5.900 MWh (entspricht 2,2 % des Wärmebedarfs) trug dabei der Energieträger Biomasse bei. Durch oberflächennahe Geothermie (Umweltwärme) werden weitere 5.440 MWh erzeugt. Solarthermie macht mit etwa 1,3 % nur einen geringen Teil der regenerativen Energieerzeugung aus (Abbildung 2-11).

Berücksichtigt man zudem die Wärmeerzeugung durch BHKWs, so ergibt sich eine regionale Erzeugung von 6,66 %. Durch Kraft-Wärme-Kopplung werden in Weilheim rund 2.959 MWh Wärme (1,1 %) erzeugt. BHKWs erzeugen sehr effizient Energie, allerdings wird in der Regel der nicht erneuerbare Energieträger Erdgas eingesetzt. Ein mit Erdgas betriebenes BHKW befindet sich z.B. im Weilheimer Hallenbad und versorgt sowohl das Bad als auch die benachbarte Sporthalle „Jahnhalle“ mit Energie und speist den überschüssigen Strom ins Netz ein. Ein zweites ebenfalls mit Erdgas betriebenes BHKW befindet sich im Weilheimer Krankenhaus und versorgt auch die benachbarte Mittelschule. Der verbleibende Anteil des Wärmebedarfs wird zu einem großen Teil durch das Erdgasnetz

(68,2 %) versorgt, welches in Weilheim gut ausgebaut ist. Betreiber ist die Energienetze Bayern GmbH & Co KG. Die restlichen 25 % des Wärmebedarfs werden durch Heizöl gedeckt. Gerade in den privaten Haushalten ist somit Heizöl noch immer der am häufigsten genutzte Energieträger.

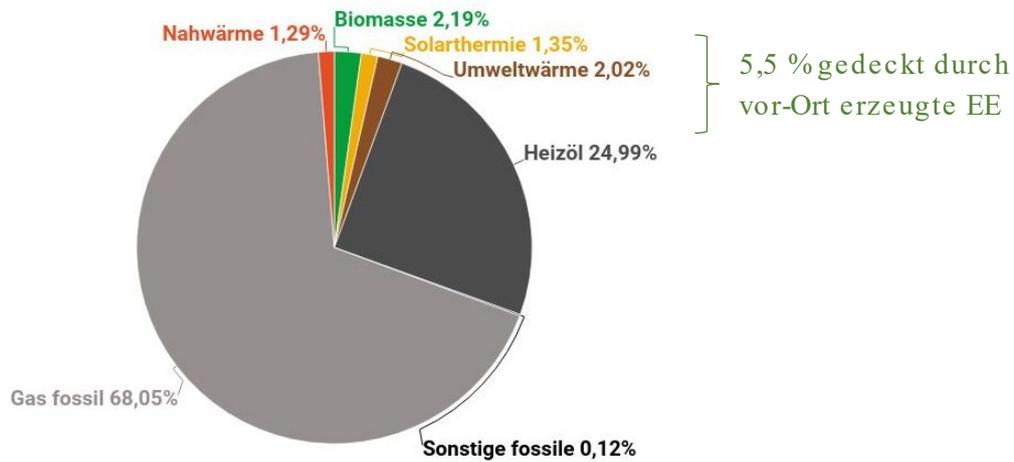


Abbildung 2-11 Energiemix Wärme (Endenergie) in Weilheim (*Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022*).

Ist mein  
Erdgasverbrauch  
zu hoch?

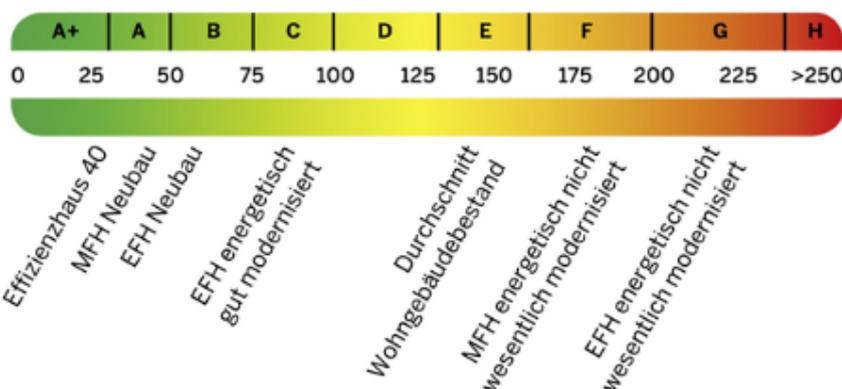
Mit wenigen Schritten kann jeder Hauseigentümer seinen Verbrauchswert über die eingesetzte Energie überschlägig selbst ermitteln:

- 1) Verbrauch von m<sup>3</sup> Erdgas x 10 = Energieverbrauch in kWh / a.
- 2) Pro Person werden 1.000 kWh für Warmwasserheizung abgezogen
- 3) Die verbleibenden kWh werden durch die Quadratmeter Wohnfläche geteilt.

**Beispielrechnung:** 4 – Personen – Haushalt, 160 m<sup>2</sup> Wohnfläche, 4.000 m<sup>3</sup> Erdgas:

- 1) 4.000 m<sup>3</sup> Erdgas x 10 = 40.000 kWh/Jahr
- 2) 40.000 kWh/a – 4.000 kWh/a = 36.000 kWh/a
- 3) 36.000 kWh/a : 160 m<sup>2</sup> = 225 kWh/m<sup>2</sup> a

So ergibt sich ungefähr ein Energieverbrauchswert für das jeweilige Gebäude. Nicht berücksichtigt wird dabei der Anteil, der ggf. durch Holz erzeugt wird. Genauer kann hier selbstverständlich ein Energieberater Auskunft geben. Sollte sich ein Verbrauchswert über 150 kWh/m<sup>2</sup>a ergeben, so besteht deutlicher Handlungsbedarf.



## 2.3 Kommunale Liegenschaften

Großes Handlungspotenzial hat die Stadt bei ihren eigenen Liegenschaften, weshalb ein genauer Kenntnisstand sowohl der verbraucherseitigen als auch der erzeugerseitigen Struktur besonders wichtig ist. Dies ist wiederum auch die Grundlage zur Ermittlung konkreter Maßnahmenvorschläge für die kommunalen Liegenschaften der Stadt.

Insgesamt 5.356 MWh Endenergie wurden im Jahr 2019 in den städtischen Liegenschaften verbraucht, wovon über 70 % auf die Bereitstellung von Wärme entfallen (Abbildung 2-12, links). Der Großteil der Wärmebereitstellung erfolgt durch fossile Energieträger. Die wichtigste Rolle spielt dabei das Erdgas. Mehr als 75 % der Wärmebedarfs werden dadurch gedeckt, denn auch für die Nahwärme (13 %) wird mit Erdgas eingesetzt. Als Nahwärme zählt hier das BHKW im Krankenhaus, an das die Mittelschule angeschlossen ist. Knapp 17 % des gesamten Wärmebedarfs werden durch Erneuerbare Energien gedeckt, welche

durch die Hackschnitzelheizungen in der Hardtschule und im AWO Kinderhaus und die Pelletheizung im Vereinsheim Unterhausen zu Stande kommen (Abbildung 2-12, rechts).

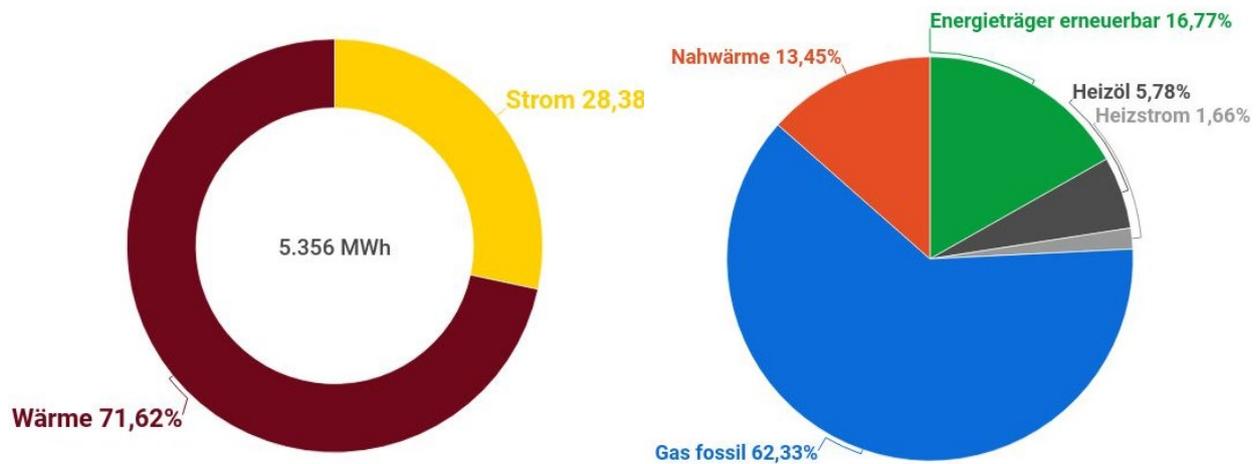


Abbildung 2-12: Anteil von Strom und Wärme am Energieverbrauch der kommunalen Liegenschaften der Stadt Weilheim (links) und Anteile der Energieträger an der Wärmebereitstellung (rechts).

Abbildung 2-13 stellt die Menge der eingesetzten Energieträger nach Gebäudekategorie dar. Den höchsten Gesamtverbrauch mit 2.150 MWh haben die Schulen und Kitas, 1.750 MWh entfallen dabei auf die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser und 400 MWh auf den Stromverbrauch. Die Verwaltungsgebäude (Rathaus, Sozialamt und Stadtarchiv) werden ausschließlich mit Erdgas beheizt und verbrauchen rund 360 MWh für Wärme und 140 MWh Strom. Alle restlichen Liegenschaften werden den „sonstigen Gebäuden“ zugeordnet. Der größte Anteil der Wärme wird auch hier durch Erdgas erzeugt, in der FFW Unterhausen, an welche auch der Kindergarten angeschlossen ist und im Jugendzentrum „Come In“ befinden sich Heizöl Heizungen. Der Kindergarten Am Sonnenfeld und das Obdachlosenheim werden mit Elektroheizungen beheizt. Die Straßenbeleuchtung, welche im Besitz der Stadt ist, verbraucht derzeit rund 300 MWh Strom pro Jahr. In nahezu allen Teilen des Stadtgebietes wurde die Beleuchtung bereits auf effiziente LED-Technik umgestellt, so dass hier Strom eingespart werden konnte (zum Vergleich: 2015 lag der Verbrauch durch Straßenbeleuchtung bei über 730 MWh). Die noch nicht umgerüsteten Straßenzüge, wie zum Beispiel der Innenstadtbereich, sollten in den nächsten Jahren auch noch erneuert werden (vgl. Kapitel 5.1.1.2).

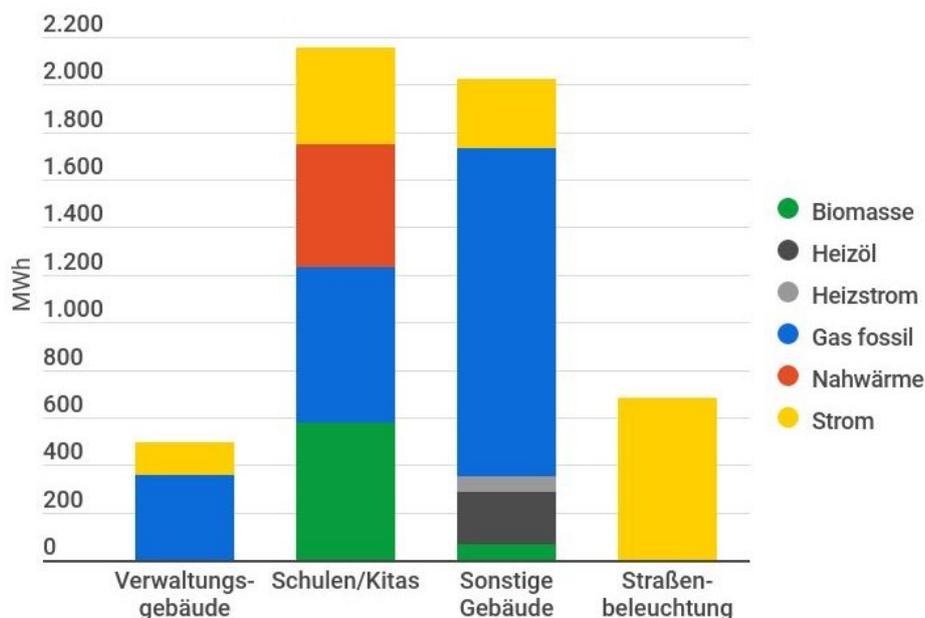


Abbildung 2-13: Aufteilung der Energieträger nach Gebäudekategorie (*Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim, 2022*).

In Abstimmung mit dem Liegenschaftsmanagement der Stadt wurden Optimierungsvorschläge für die städtischen Liegenschaften entwickelt. Diese sind Maßnahmenkatalog im Detail beschrieben (siehe Kapitel 5).

## 2.4 CO<sub>2</sub>- Bilanz

Die vorliegende CO<sub>2</sub>-Bilanz wurde mit Hilfe des Klimaschutz-Planers, einem vom Klimabündnis entwickelten Online-Tool, nach BSKO-Standard (Bilanzierungssystematik Kommunal) erstellt. Die Bilanzierung erfolgt dabei nach dem Territorialprinzip, d.h. es werden alle Emissionen bilanziert, die durch Energieverbrauch und-erzeugung in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr auf dem Stadtgebiet entstehen.

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden die in Tabelle 2-1 aufgelisteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verwendet.

Tabelle 2-1: CO<sub>2</sub>-Äquivalente der jeweiligen Energieträger [kg CO<sub>2</sub>-Äqu./MWh] (*GEMIS 4.94, 2019*)

Energieträger	Emissionsfaktor [kg CO <sub>2</sub> -Äqu./MWh]
Strom (Energieträgermix)	478
Erdgas	247
Heizöl	311
BHKW (nicht erneuerbarer Brennstoff)	180
BHKW (erneuerbarer Brennstoff)	31
Stückholz	22
Hackschnitzel	22
Holzpellets	22

Insgesamt entsteht durch den Energieverbrauch in Weilheim ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 143.380 t CO<sub>2</sub>. Allein durch den Strom- und Wärmebedarf ergeben sich 107.939 t CO<sub>2</sub> pro Jahr, was einem pro-Kopf-Ausstoß von 4,78 t CO<sub>2</sub> pro Jahr bedeutet. Unter Berücksichtigung der zusätzlich durch den Verkehr verursachten Emissionen beträgt der pro-Kopf-Ausstoß 6,35 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Bezogen auf die Verbrauchssektoren, tragen die Gewerbebetriebe mit knapp 50 % den größten Anteil zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Davon entfallen gut 60 % auf den Wärme- und knapp 40 % auf den Stromverbrauch. Durch den auf Weilheimer Flur stattfindenden motorisierten Verkehr werden über 25 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, 19 % emittieren die privaten Haushalte durch deren Strom- und Wärmeverbrauch und gut 2 % der Sektor Industrie. Die durch die kommunalen Liegenschaften verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen tragen mit 1 % zu den gesamten Treibhausgas-Emissionen in Weilheim bei (Abbildung 2-14: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Verbrauchssektoren im Jahr 2019 in Weilheim (*Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim*, 2022)).

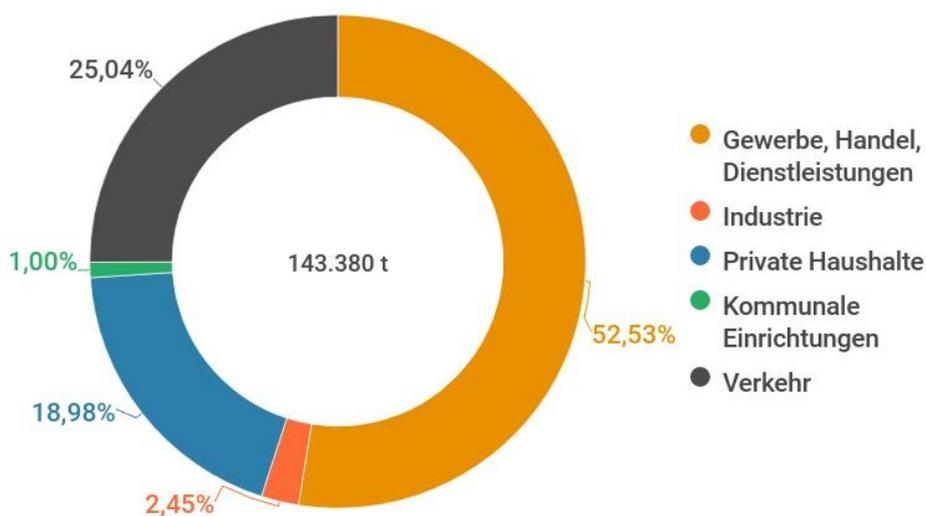


Abbildung 2-14: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Verbrauchssektoren im Jahr 2019 in Weilheim (*Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim*, 2022).

### 3 Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse zeigt auf, welche Möglichkeiten im Stadtgebiet existieren, um mittels Energieeinsparung, regenerativer Energieerzeugung sowie der Nutzung vorhandener Abwärme-Quellen das Klimaschutzziel „Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern bis 2035“ zu erreichen. Zusammen mit der in Kapitel 2 erfassten Bestandsanalyse bildet die Potenzialanalyse damit eine wichtige Grundlage zur Erarbeitung einer intelligenten Energiestrategie für Weilheim. Da die beste Energie diejenige ist, die gar nicht erst verbraucht wird, werden zu Beginn des Kapitels die Energieeinsparpotenziale für Weilheim aufgezeigt. Im zweiten Teil werden die Potenziale der regenerativen Energieerzeugung auf dem Stadtgebiet von Weilheim erhoben. Wichtig für die Umsetzbarkeit von Energieprojekten ist der Teil des theoretischen Potenzials, welcher technisch realisierbar ist und unter Berücksichtigung von natur- und wasserschutzrechtlichen Vorgaben wirtschaftlich erschlossen werden kann (Abbildung 3-1). Da sich langfristig immer technologische Entwicklungen sowie Änderungen der wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen ergeben können, kann der technische Potenzialanteil dagegen auch Jahre nach Erstellung dieses Konzepts noch herangezogen werden. **In §2 EEG 2023 wird die besondere Bedeutung der erneuerbaren Energien hervorgehoben. Demnach liegt die Nutzung aller erneuerbarer Energien im „überragenden öffentlichen Interesse“ und „dient der öffentlichen Sicherheit“ (EEG, 2023). Damit gelten die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in der Schutzgüterabwägung.**

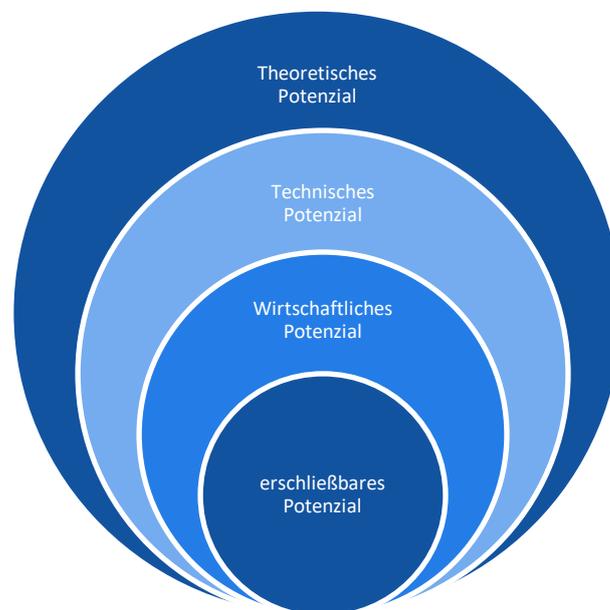


Abbildung 3-1: Übersicht der Betrachtungsebenen von Energiepotenzial (StMUG et al., 2011).

### **3.1 Energieeinsparpotenziale bis 2035**

Die Berücksichtigung des Potenzials zur Einsparung von Energie durch ein verantwortungsvolles Verbrauchsverhalten sollte stets an erster Stelle stehen. Von der technischen Sichtweise her erscheint „Energie sparen“ einfach, vergleicht man Energieeinsparmaßnahmen z.B. mit der Errichtung eines hochtechnisierten Biomasseheizkraftwerk. Die vergangenen Jahrzehnte haben jedoch gezeigt, dass es eine große Herausforderung ist, bestehende Verhaltensmuster nachhaltig zu verändern. Im Gegensatz zur Energieerzeugung ist beim Energieeinsparen die gesamte Bandbreite gesellschaftlicher Akteure gefragt. Unternehmen, Politik, Verwaltungen sowie alle Bürgerinnen und Bürger sind dazu aufgefordert entsprechend ihrer Möglichkeiten einen sparsamen Einsatz von Energie umzusetzen. Die EU-Energie-Effizienzrichtlinie sieht vor, dass im Zeitraum von 01.01.2021 bis 31.12.2030 jährlich 0,8 % des gemittelten Endenergieverbrauchs der Jahre 2016 - 2018 eingespart werden (EED, 2018).

Die kommunale Verwaltung sollte hier mit besonders gutem Beispiel vorangehen und Ihre Möglichkeiten zur Energieeinsparung ausschöpfen, um der Vorbildfunktion der öffentlichen Verwaltung gerecht zu werden. Die folgenden beiden Kapitel sollen einen Überblick über die Größenordnungen von energetischen Einsparpotenzialen in Weilheim geben.

#### **3.1.1 Wärmeeinsparpotenziale im Gebäudebestand**

Die bisherige Sanierungsquote von bestehenden Gebäuden in Bayern liegt bei etwa 0,8 bis 1,0 % (Nemeth et al., 2012). Für das bayerische Ziel, den Primärenergieverbrauch bis 2040 um 60 % zu senken, müsste die Sanierungsquote allerdings auf 2,0 bis 2,5 % gesteigert werden. Bei diesen Quoten wird der Gebäudebestand im Durchschnitt einmal komplett in 50 bzw. 40 Jahren saniert.

Als Referenz für ein saniertes Gebäude kann das Niveau eines KfW-Effizienzhauses 100 (d.h. ca. 70 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)) herangezogen werden. Zu berücksichtigen ist, dass es weder wirtschaftlich noch bauphysikalisch bei allen Gebäuden möglich ist, eine vollständige Sanierung durchzuführen. Das größte Potenzial liegt insbesondere bei Bestandsgebäuden aus den 60er bis 80er Jahren. Wohngebäude dieser Baualtersklassen sind aus energetischen Gesichtspunkten meist ungünstig. Allerdings sind diese in der Regel bauphysikalisch einfach zu sanieren und erzielen aufgrund der älteren Bausubstanz sehr hohe Einsparungen. Einzelmaßnahmen wie z.B. Fenstertausch oder Dachsanierungen sind zudem Investitionen, die ohnehin zum Erhalt der Wohnqualität erforderlich sind.

Durch gezielte Sanierungsmaßnahmen, vor allem durch die Dämmung des Daches sowie den Austausch der Fenster, sind hohe Einsparergebnisse und eine Steigerung der Wohnqualität zu erzielen.

Die Bereiche in Weilheim, in denen der Wohngebäudebestand in keinem energetisch hochwertigen Zustand ist und die energetische Sanierung daher forciert werden sollte, sind in der Wärmedichtekarte in Abbildung 3-3 dargestellt. Das sind:

- Bereich um Frühling-/Sommerstraße
- Entlang Kanalstraße
- Ammerstraße / Am Frischanger
- Im Paradeis
- Bereich um Blüten-/Blumen-/Schweigerstraße
- Bereich nördlich der Hardtkapellenstraße

In den Gebieten, in denen ein Anschluss an das geplante Fernwärmenetz möglich ist, wird zudem empfohlen, diesen zu realisieren.

Als Trichter einer möglichen Wärmebedarfsentwicklung ist für Weilheim eine Sanierungsquote zwischen 2 bis 3 % in Abbildung 3-2 dargestellt. Dabei wird angenommen, dass mit jeder Komplettsanierung der jeweilige Wärmebedarf durchschnittlich um die Hälfte reduziert wird. Bezogen auf den Gesamtwärmebedarf aller Bestandsgebäude würde sich bis 2035 mit einer Sanierungsquote von 2 % ein Einsparpotenzial von 16,0 % und mit einer Sanierungsquote von 3 % ein Einsparpotenzial von 24 % gegenüber dem Jahr 2019 ergeben.

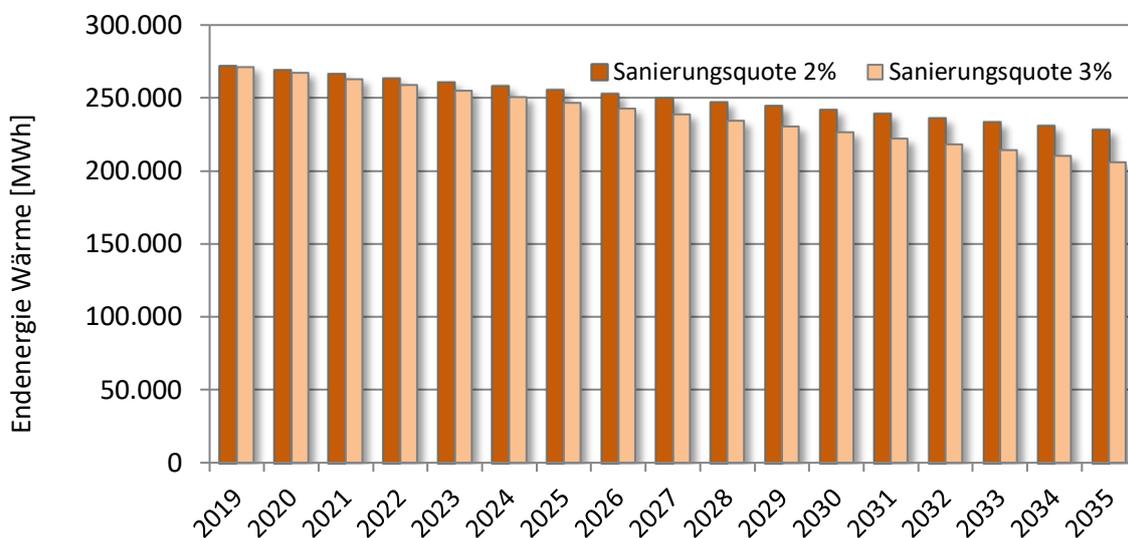


Abbildung 3-2: Mögliche Wärmebedarfsentwicklung bei Sanierungsquoten von 2 % und 3 % bis zum Jahr 2035 in Weilheim.

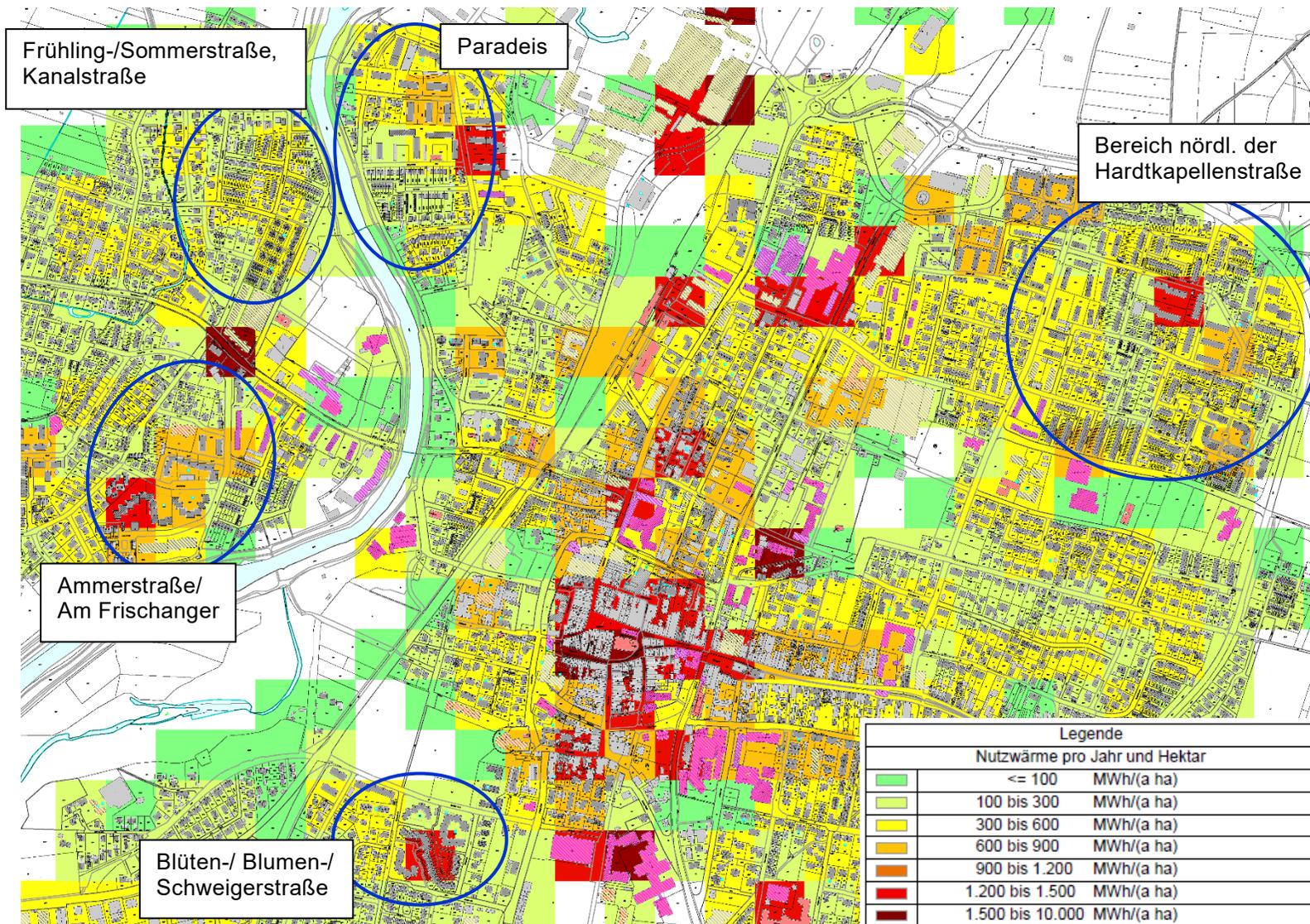


Abbildung 3-3: Ausschnitt Wärmedichtekarte Weilheim mit vorrangigen Sanierungsgebieten (blaue Ellipsen).

### 3.1.2 Effizienz in der Energieerzeugung

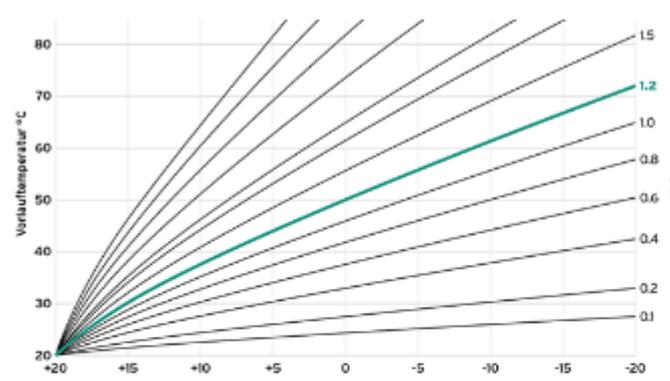
Eine deutliche Steigerung der effizienten Energieerzeugung vor allem in privaten Haushalten kann durch eine aktive Bedienung der bestehenden Heizungsregelung erreicht werden:

Heizungs-  
regulierung

Seit Einführung der Heizanlagenverordnung im Jahr 1995 ist eine witterungsgeführte Regelung der Heizanlage vorgeschrieben. Erfahrungsgemäß werden die vielfältigen Möglichkeiten zur energieeffizienten Einstellung der Anlage nicht genutzt. Oftmals sind Neuanlagen in der Werkseinstellung in Betrieb gegangen und keinerlei Änderungen vorgenommen worden. Folgendes sollte jeder Betreiber einer Heizanlage überprüfen: **Heizprogramme für Heizkreis, Warmwasserzubereitung und Zirkulationspumpe:**



**Sommer-/Winterumschaltung:**  
Alle Heizungsregelungen verfügen über eine Schaltmöglichkeit, um den Heizbetrieb auszuschalten. Je nach energetischem Zustand ist dies ab Mitte Mai bis Ende September möglich. Moderne Regler verfügen zusätzlich über eine automatische Umstellung nach Außentemperatur. Dort kann eingestellt werden, dass der Heizbetrieb auch in Übergangszeiten bei einer Außentemperatur von z.B. über 16 °C abschaltet wird. Diese Funktion ist werksseitig oft nicht aktiviert. Gebäude mit energetisch hoher Bauqualität können diese Umschaltung bereits ab 12 °C nutzen und so ohne Komfortverlust Energie sparen.



**Steilheit der Heizkurve:**  
Grundsätzlich stellt die Witterungsführung einer Heizanlage bei kälteren Außentemperaturen wärmeres Heizungswasser zur Verfügung, um die Raumtemperaturen halten zu können. Gerade bei älteren, zu groß dimensionierten Heizanlagen führt dies zu uneffizienter, taktender Betriebsweise.

Bei niedriger eingestellten Heizkurven kann die Heizanlage sparsamer betrieben werden. Waren früher in Bestandsgebäuden mehr als 70°C Vorlauftemperatur erforderlich, so ist oftmals der Wärmebedarf aufgrund besserer Fenster oder gedämmter Speicher geringer geworden. Mit der Anpassung der Heizkurve kann wesentlich Brennstoff eingespart werden.

Weitere wertvolle Tipps zum Energiesparen gibt es u.a. bei [www.verbraucherzentrale-energieberatung.de](http://www.verbraucherzentrale-energieberatung.de) und deren kostenlosen Berater-Hotline: 0800-803 802 400.

### 3.1.3 Einsparpotenziale Strom

Sowohl konkrete Versuche in Haushalten in der Region (z.B. „Fischbachau spart Strom“) als auch theoretische Studien (dena, 2015; UBA, 2017) zeigen, dass weiteres Einsparpotenzial in Haushalten besteht. Auch der vermehrte Einsatz von effizienteren Haushaltsgeräten kann zur Reduktion des Stromverbrauchs beitragen. Eine vollständige Umsetzung dieses Einsparpotenzials setzt aber auch eine Verhaltensänderung hin zum sparsameren Einsatz von Energie sowie eine konsequente Umstellung auf energieeffiziente Gerätetechnik voraus.

Im Projekt INOLA (INOLA, 2019) wurden die Einsparpotenziale in den Landkreisen des Oberlands ermittelt. Im Vergleich zu 2014 ergibt sich bis 2035 bei den Privaten Haushalten ein Einsparpotenzial von 15 % und im Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistung von 10 % der elektrischen Endenergie.

Trotz vorhandener Einsparpotenziale und steigender Energieeffizienz ist zukünftig mit großer Wahrscheinlichkeit nicht oder nur mit gering sinkenden Netzabsatz- und Strombedarfsmengen zu rechnen. Für die Dekarbonisierung der gesamten Energieversorgung wird Strom eine wichtige Rolle spielen und verstärkt auch in den Sektoren Mobilität und Wärme an Bedeutung gewinnen. Durch die zunehmende Digitalisierung, den Ausbau der E-Mobilität und dem Einsatz von Strom zur Wärmebereitstellung durch beispielsweise Wärmepumpen wird die Nachfrage nach Strom demnach hoch bleiben.

Das betrifft sowohl die Privaten Haushalte, öffentlichen Gebäude als auch Gewerbebetriebe.

## 3.2 Regenerative Energieerzeugungspotenziale

Die folgende Analyse der Energieerzeugungspotenziale für Weilheim umfasst folgende erneuerbare Energien:

- Solarenergie (S.27)
- Bioenergie (S.34)
- Windenergie (S.40)
- Wasserkraft (S.42)
- Oberflächennahe Geothermie (S.43)
- Abwärme (S. 50)

### 3.2.1 Solarenergie (Dachflächen)

Die Photovoltaik erzeugt den größten Betrag an erneuerbarem Strom auf dem Stadtgebiet von Weilheim. Trotzdem sind noch große zusätzliche Potenziale auf den Dachflächen zur weiteren Erzeugung von Solarenergie vorhanden. Dies trifft sowohl für die Photovoltaik als auch für die Solarthermie, welche zu 1,3 % der Wärmebereitstellung beiträgt, zu.

Wie viel der eintreffenden Sonnenenergie in Wärme und Strom umgewandelt werden kann, hängt prinzipiell von vielen Faktoren ab, wie z.B. dem Anlagenwirkungsgrad, der Dachneigung und -ausrichtung sowie den saisonal unterschiedlichen Einfallswinkeln der solaren Strahlung. Um eine fundierte Gesamtabstschätzung der Dachflächenpotenziale für Solarthermie (ST) und Photovoltaik (PV) vornehmen zu können, bedarf es folglich einer genaueren Analyse, bei der Einstrahlungsdaten und die Geometrie der Dachlandschaft in Weilheim miteinander verknüpft werden. Die Vorgehensweise dazu ist in folgendem Abschnitt erläutert.



Abbildung 3-4: Ausschnitt des LoD2-Gebäudemodells in Weilheim (Basiskarte: OpenStreet-Map.org).

### **3.2.1.1 Methodik der Dachflächenpotenzialermittlung**

Die Ermittlung der solarenergetischen Potenziale erfolgt auf Basis eines 3-D-Gebäudemodells der bayerischen Vermessungsverwaltung (LoD2) und den Globalstrahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Diese Methode erlaubt eine gebäudescharfe Ableitung des Potenzials für Photovoltaik und Solarthermie unter genauer Berücksichtigung der Dachlandschaft von Weilheim.

Die hohe Genauigkeit dieses relativ aufwendigen Verfahrens wird im „Leitfaden Energienutzungsplan“ (StMUG et al., 2011) explizit hervorgehoben. Insgesamt sind bei der durchgeführten Analyse rund 12.000 Gebäude mit einer Dachfläche von 1.884.000 m<sup>2</sup> berücksichtigt.

Von der Potenzialermittlung ausgeschlossen sind N-, NO-, und NW- ausgerichtete Dachflächen, sowie alle Dachflächen von denkmalgeschützten Gebäuden. Bereits bestehende PV- und ST-Anlagen werden bei der Analyse ebenso berücksichtigt und werden als nicht mehr verfügbare Dachflächen von den Potenzialflächen abgezogen.

Dabei sind alle bestehenden solarthermischen Anlagen berücksichtigt, die im Rahmen des MAP in Deutschland gefördert wurden (BSW, 2022). Die Daten über die bestehenden PV-Anlagen wurden dem Energieatlas Bayern und den Einspeisedaten von Bayernwerk (Bayernwerk, 2020; LfU, 2022a) entnommen. Die Globalstrahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2017) bilden im nächsten Schritt die Grundlage zur Ermittlung der verfügbaren Einstrahlung auf den Dachflächen der Stadt. Da sich Globalstrahlungsdaten auf horizontale Flächen beziehen, sind die Daten zusätzlich nach Dachneigung und -ausrichtung korrigiert, um damit die auf den einzelnen Dachflächen tatsächlich verfügbare Energiemenge zu ermitteln (siehe Abbildung 3-5). Die Umsetzung dieser Korrektur erfolgte mit Unterstützung des Lehrstuhls für Geographie und Fernerkundung der LMU München im Rahmen des Projekts INOLA (Innovationen für ein Nachhaltiges Land- und Energiemanagement).

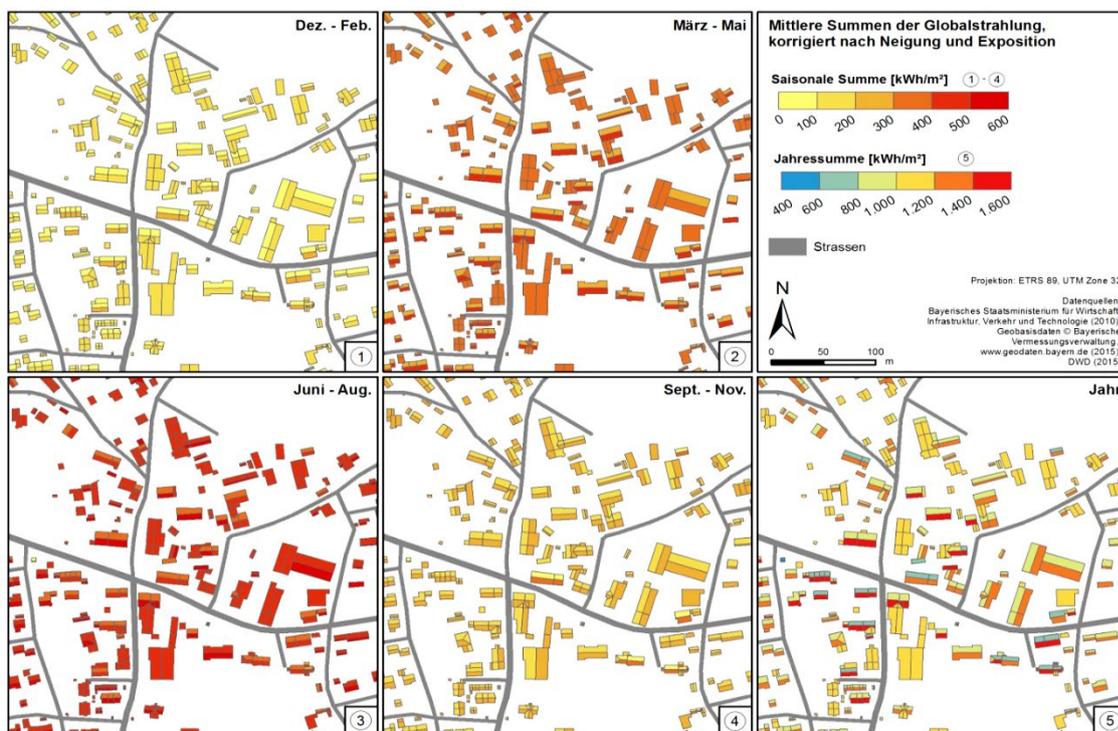


Abbildung 3-5: Durch Korrektur der Globalstrahlungsdaten nach Neigung und Ausrichtung ist für jede Dachfläche die verfügbare Globalstrahlung bekannt (Hofer et al., 2016).

Für Flachdächer ist bei der Potentialermittlung eine Aufständigung mit 35° Neigung und südlicher Ausrichtung die zugrunde liegende Annahme. Durch diese Kollektorkonfiguration können maximale jährliche Einstrahlungssummen erreicht werden. Die aus der Aufständigung resultierenden Verschattungseffekte sind gemäß dem „Leitfaden Energienutzungsplan“ (StMUG et al., 2011) durch einen überschlägigen Reduktionsfaktor von 0,4 berücksichtigt, da im Jahresdurchschnitt nur knapp 40 % der gesamten Flachdachfläche in Form solch aufgeständerter Kollektoren genutzt werden kann.

Die gesamte Abfolge von Arbeitsschritten zur Potenzialermittlung für Photovoltaik und Solarthermie auf den Dachflächen der Stadt Weilheim kann im Detail im Ablaufschema von Anhang 2 nachvollzogen werden. Die Potenziale für Photovoltaik und Solarthermie wurden jeweils unabhängig voneinander untersucht und dürfen folglich nicht aufsummiert werden.

### 3.2.1.2 Photovoltaik

Für die Ermittlung des PV-Dachflächenpotenzials sind lediglich Dächer berücksichtigt, die mindestens ein Modulflächenpotenzial von 20 m<sup>2</sup> aufweisen. Eine Wirtschaftlichkeit ist i.d.R. erst ab dieser Flächengrößenordnung gegeben. Wie in Tabelle 3-1 zusammenfassend dargestellt wird, ist auf den geeigneten und noch nicht belegten Dachflächen der Stadt maximal noch Platz für rund 630.000 m<sup>2</sup> PV-Modulfläche. Bei vollständiger Nutzung dieser Fläche ergäbe sich ein PV-Gesamtpotenzial in der Größenordnung von **67.685 MWh** pro Jahr bei einem Jahresnutzungsgrad von 9 % gemäß „Leitfaden Energienutzungsplan“ (StMUG et al., 2011), wobei der Jahresnutzungsgrad mittlerweile höher ist.

Tabelle 3-1: Übersicht über das noch zur Verfügung stehende PV-Potenzial auf den Dachflächen der Stadt Weilheim.

Ertragspotenzial PV [MWh/a]	Modulflächenpotenzial PV [m <sup>2</sup> ]	Durchschnittsertrag pro Fläche [kWh/m <sup>2</sup> a]
67.685	630.000	107

Etwa 50 % des verfügbaren Potenzials entfällt auf Wohn- und Hauptgebäude und knapp 45 % auf die Dachflächen von Gewerbebetrieben. Diese enthalten ebenfalls landwirtschaftlich genutzte Gebäude. Die Dächer der öffentlichen Gebäude mit Rathaus, Feuerwehrgebäuden, Kindergärten und Schulen machen 4 % aus.

Berücksichtigt man zusätzlich die Ausrichtung der Dachflächen, so sind 42 % der betrachteten Dächer in die besonders geeigneten Expositionen Südsüdost, Süd und Südsüdwest ausgerichtet. Allerdings sind auch PV-Anlage die Richtung Ost und West ausgerichtet sind vor allem für Privathaushalte attraktiv. Beim typischen Verbraucherverhalten können mit der Sonneneinstrahlung in den Morgen und Abendstunden gute Eigenverbrauchsanteile erreicht werden.



**Einzeldach-  
betrachtung**

*Um die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage einer konkreten Dachfläche zu ermitteln ist es nicht ausreichend, alleine das entsprechende Energieerzeugungspotenzial zu betrachten. Es sind zusätzlich Lastganganalysen erforderlich, auf deren Basis unter Berücksichtigung der PV-Anlagendimensionierung und des Einsatzes von Speichern die Eigenverbrauchs- und Eigendeckungsanteile berechnet werden.*

**FAZIT: Das Potenzial ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Aus wirtschaftlicher Sicht empfiehlt sich die Installation einer PV-Anlage sowohl für die meisten Gewerbebetriebe als auch auf vielen Privatgebäuden.**

### 3.2.1.3 Solarthermie

Für die Ermittlung des ST-Potenzials wurden bereits geeignete Dachflächen ab einem Potenzial für 9 m<sup>2</sup> Kollektorfläche berücksichtigt. Die neuen Richtlinien zur Bafa-Förderung enthalten zwar keine Mindest-Kollektorfläche, in der Praxis werden jedoch kaum mehr Anlagen zur reinen Brauchwasserspeicherung gebaut, sondern Anlagen mit Frischwasserstationen und Pufferspeicher. Diese können auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden, sie sind meist erst ab dieser Größe und unter Einbeziehung der Fördermittel wirtschaftlich. Im Gegensatz zum PV-Potenzial wurden nur die Dachflächen von Wohn- und Hauptgebäuden sowie die der Kindergärten berücksichtigt. Flachdächer sowie die Dächer der übrigen Gebäudekategorien wurden von der ST-Potenzialanalyse ausgeschlossen, da bei diesen Gebäuden die erzeugte Wärme erfahrungsgemäß oft nicht genutzt werden kann. Die im Einzelfall durchaus vorhandene wirtschaftliche Rentabilität von ST-Anlagen muss individuell vor Ort geprüft werden und ist nicht Gegenstand der vorliegenden Potenzialermittlung.

Wie in Tabelle 3-2 dargestellt, konnte insgesamt für die Stadt, abzüglich der bereits für PV- oder Solarthermie genutzten Flächen, ein Potenzial von rund 202.490 m<sup>2</sup> geeigneter und verfügbarer ST-Kollektorfläche ermittelt werden. Damit ergibt sich für die Stadt ein solarthermisches Potenzial in der Größenordnung von **62.035 MWh** pro Jahr bei einem angenommenen Jahresnutzungsgrad von 25 % gemäß Leitfaden Energienutzungsplan (StMUG et al., 2011).

Tabelle 3-2: Übersicht über das ST-Potenzial auf den Dachflächen der Stadt Weilheim.

Ertragspotenzial ST [MWh/a]	Kollektorflächenpotenzial ST [m <sup>2</sup> ]	Durchschnittsertrag pro Fläche [kWh/m <sup>2</sup> a]
62.035	202.492	306

**FAZIT: Auch dieses Potenzial sollte verstärkt genutzt werden. Der günstigste Zeitpunkt für die Installation einer solarthermischen Anlage ist bei Modernisierung der Heizanlage. Die neuen Systeme können optimal aufeinander abgestimmt werden. Die Fördermittel sind bei gleichzeitiger Installation von neuem Kessel und Solaranlage am höchsten.**

### 3.2.2 Freiflächen-Photovoltaik

Auf Weilheimer Flur befinden sich viele Flächen, die sich theoretisch für die Errichtung von Freiflächen-Photovoltaik Anlagen eignen könnten. Auch dadurch, dass den erneuerbaren Energien in der Schutzgüterabwägung ein vorrangiger Belang (EEG, 2023) zugesprochen wird, minimieren sich die Ausschlussflächen.

#### **EEG – Flächen**

Die gem. EEG für Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Frage kommenden Gebiete richten sich nach §48 Abs. 1 Nr. 3 c (EEG, 2023) und umfassen u.a. Flächen:

- Die Längs von Autobahnen oder Schienenwegen liegen und wenn die Anlage in einer Entfernung von bis zu 500 m, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn, liegt,
- Die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplanes bereits versiegelt waren,
- Die sich auf Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbau-licher oder militärischer Nutzung befinden und diese Flächen zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans nicht rechtsverbindlich als Naturschutzgebiet im Sinn des § 23 des Bundesnaturschutzgesetzes oder als Nationalpark im Sinn des § 24 des Bundesnaturschutzgesetzes festgesetzt worden sind.
- Als „besondere Solaranlagen“ (§37 Nr. 3) gelten Anlagen auf:
  - Moorböden, die mit der Errichtung der Solaranlage wiedervernässt werden
  - Landwirtschaftlich genutzten Flächen (Agri-PV) mit gleichzeitigem Nutzpflanzenanbau, dem Anbau von mehrjährigen / Dauerkulturen, Dauergrünlandnutzung
  - Parkplatzflächen

Eine Vergütung gem. EEG 2023 erhalten Anlagen mit einer Leistung bis zu 1.000 kW<sub>p</sub> (ab 01.01.2023). Eine 1.000 kW<sub>p</sub>-Anlage könnte mit der in Weilheim durchschnittlich zur Verfügung stehenden Einstrahlungsmenge (für nach Süden aufgeständerte Module 1.500 kWh/m<sup>2</sup>) rund 1.500 MWh pro Jahr erzeugen.

#### **Freiflächen auf landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten**

Prinzipiell besteht die Möglichkeit, dass auch auf Grün- oder Ackerflächen PV-Anlagen errichtet werden können. Die bayerische Landesregierung ermöglicht die Förderung von PV-Anlagen auf Acker- und Grünlandflächen in den so genannten landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten (StMWi 2017c). Um eine übermäßige Inanspruchnahme von land-

wirtschaftlich und naturschutzfachlich wertvollen Flächen zu vermeiden, regelt die Freiflächenverordnung, dass maximal 200 Freiflächenanlagen pro Jahr genehmigt werden können. In Weilheim sind alle Flächen gemäß VO RL 75/268/EWG als benachteiligtes Gebiet (Berggebiet, benachteiligte Agrarzone, Kleines Gebiet) klassifiziert. Seit Juni 2017 können sich PV-Projekte in diesen Gebieten bei den Ausschreibungsverfahren der Bundesnetzagentur für eine Förderung bewerben. Gebiete für Anlagen auf Flächen, die als Natura 2000-Gebiet festgesetzt oder Teil eines gesetzlich geschützten Biotops sind, sind von der Förderung ausgenommen. Selbstverständlich liegt es im Ermessen des Grundstückseigentümers, wie Flächen genutzt werden.

Auch die Stadt ist in Besitz einiger Flächen, die sich für die Realisierung von PV-Freiflächen eignen. Eine Überprüfung und Bewertung zur Eignung haben bereits durch die Verwaltung und die Stadtwerke stattgefunden. Würde die Stadt eine Anlage auf ihren Flurstücken realisieren, so würde sie einerseits als Vorbild voran gehen, gleichzeitig hätte sie die Möglichkeiten der Bürgerbeteiligung selbst in der Hand.

Eine konkrete Ausweisung von solchen Potenzial- oder Vorrangflächen ist nur schwer möglich. Die Grünlandflächen auf Weilheimer Flur würden theoretisch ausreichen, um bilanziell den Gesamtstrombedarf der Stadt erzeugen zu können. Zu beachten sind jedoch viele unterschiedliche Interessensvertretungen. Ein hoher Siedlungsdruck als auch der Flächenbedarf durch die Landwirtschaft müssen bei der Identifizierung geeigneter Flächen berücksichtigt werden. Auch die Akzeptanz der Bevölkerung für solche Projekte ist wichtig.

Eine Grundvoraussetzung zur Errichtung einer Freiflächenanlage ist, dass die zuständige Kommune die Nutzung bzw. Bebauung der in Betracht kommenden Fläche rechtsverbindlich zulässt und alle öffentlichen und privaten Interessen berücksichtigt. Ansprechpartner für die Erstellung oder Änderung eines Bebauungsplanes ist die örtliche Baubehörde. Stimmt die Stadt einem solchen Vorhaben zu, muss sie den Bereich, in welchem eine Freiflächen-Photovoltaikanlage errichtet werden soll, in ihrem Flächennutzungsplan entsprechend als Sondergebiet („Fläche für Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien – Sonnenenergie“) ausweisen.

**FAZIT: Unter Berücksichtigung der derzeitigen Energieverbräuche und den eingeschränkten Energieerzeugungspotenzialen auf dem Stadtgebiet von Weilheim werden PV-Freiflächenanlagen den Schlüssel zur regenerativen Stromerzeugung darstellen.**

**Sollte es zu einer Flächenkonkurrenz mit landwirtschaftlich genutzten Flächen kommen, sollte die Möglichkeit von Agri-PV-Lösungen genutzt werden. Bifaziale PV-**

**Zäune oder hoch aufgeständerte Modulreihen ermöglichen das Befahren und Beweiden dieser Anlagen und somit eine Doppelnutzung der Flächen. Allerdings verringern die höheren Investitionskosten die Wirtschaftlichkeit derartiger Projekte.**

**Die Eingrünung der Flächen und die Integration naturschutzbezogener Ausgleichsmaßnahmen wie z.B. Steinriegel oder Tümpel können zur Akzeptanzsteigerung innerhalb der Bevölkerung und zur ökologischen Aufwertung der Flächen beitragen. Die Bereitschaft der Grundstückseigentümer ist selbstverständlich Voraussetzung für die Errichtung einer PV-Freiflächenanlage.**

### 3.2.3 Bioenergie aus Land- und Forstwirtschaft

Bedingt durch Landnutzung und naturräumliche Bedingungen ergeben sich verschiedene Biomasse-Energiepotenziale für Weilheim. Insgesamt werden von der gesamten Gesamtfläche (rund 34 km<sup>2</sup>) in Weilheim 47 % landwirtschaftlich und 40 % forstwirtschaftlich genutzt (Abbildung 1-3) (LfStat, 2021d). Das sich daraus ergebende energetische Potenzial durch Nutzung verfügbarer Biomasse wird in den folgenden Kapiteln analysiert.

#### 3.2.3.1 Energieholz

Aufgrund des Waldreichtums in der Region kommt dem Energieträger Holz eine ganz besondere Rolle zu. Dabei stehen mit Hackschnitzel-, Pellet- und Scheitholzheizungen verschiedene Möglichkeiten zur thermischen Energiegewinnung zu Verfügung. Alle drei Formen haben eines gemeinsam: Als erneuerbarer und nachwachsender Energieträger ist die CO<sub>2</sub>-Bilanz um ein Vielfaches besser als im Vergleich zu den fossilen Energieträgern wie Öl und Gas. Kurze Transportwege sind für den Klimaschutz Voraussetzung und sorgen für die regionale Wertschöpfung.

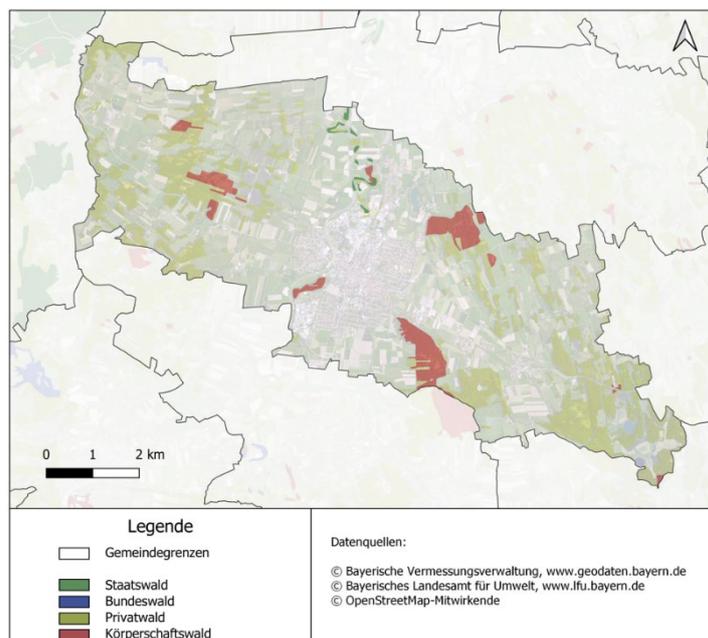


Abbildung 3-6: Eigentumsverhältnisse Forst im Stadtgebiet von Weilheim.

Entscheidend zur Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials für Energieholz ist die Kenntnis über die Waldeigentumsverhältnisse sowie über die regionale Sortierungspraxis (stoffliche Nutzung, Energieholz, Industrieholz). Die Forstflächen auf Weilheimer Flur sind überwiegend Privat- oder Körperschaftswälder (Abbildung 3-6). Generell sind in diesen noch größere nachhaltig nutzbare Energieholzmengen vorhanden als in den Staatsforsten, die bereits nahe dem nachhaltigen Maximum bewirtschaftet werden.

Die aktuelle Sortierungspraxis der Privat- und Körperschaftswälder setzt sich in etwa aus rund 60 % Stammholz, 4 % Industrieholz und 36 % Energieholz zusammen (Rothe et al., 2013). Dabei ist das Energieholz stets als „Abfallprodukt“ der stofflichen Nutzung zu sehen. Zudem ist im Sinne einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung zu beachten, dass ein gewisser Teil des verfügbaren Holzes als Totholzlebensraum und zur Aufrechterhaltung der Nährstoffverfügbarkeit und langfristigen Gesundheit des Ökosystem im Wald verbleiben soll. Mehrere Faktoren beeinflussen die Sortierungspraxis und die Einschlagsintensität. Es ist damit zu rechnen, dass mit steigenden Energiepreisen auch als Industrieholz nutzbares Holz (z.B. derzeit schlecht bezahltes Käferholz) dem Energieholz zugeführt wird und somit mittelfristig bis zu 10 % mehr Energieholz zur Verfügung steht.

Mit 468 ha macht der **Stadtwald** einen relativ großen Anteil aus. Mit den Einschlagsmengen, die bis 2036 festgesetzt sind, ergibt sich auf diesen Flächen pro Jahr ein Energieholzpotenzial von rund **1.300 fm/a**, woraus etwa **2.600 MWh** Wärme gewonnen werden könnten.

In den **Privatwäldern** von Weilheim ergibt sich ein Energieholzpotenzial von insgesamt 9.335 srm/a bzw. 5.600 Ster pro Jahr. Rund zwei Drittel davon werden bisher genutzt (Abbildung 3-7). Zusätzliche **3.170 srm/a** würden (bei gleichbleibender Sortierungspraxis) in diesen Waldflächen zur Verfügung stehen. Unter Annahme der Nadel- und Laubholzverteilung von zwei Drittel Nadel- und ein Drittel Laubholz (Auskunft: WBV Weilheim) könnten so durch Energieholz aus den Privatwäldern zusätzlich **3.100 MWh Wärme pro Jahr** erzeugt werden, woraus sich etwa **310.100 l Heizöl** ersetzen ließen. Darüber hinaus fallen rund 10 % des Stammholzes als Sägespänerest an. Dieser kann zu Pellets weiterverarbeitet werden und so zusätzlich zum Energieholzpotenzial beitragen. Noch nicht eingeschlossen in diese Analyse sind mögliche Potenziale aus

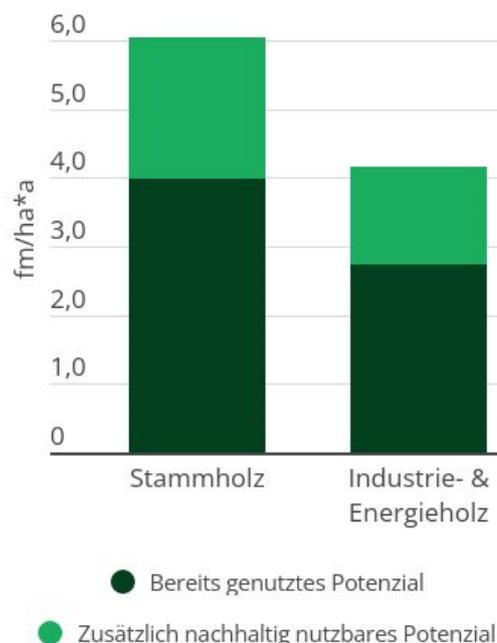


Abbildung 3-7: Bereits genutztes und zusätzlich nachhaltig nutzbares Potenzial in den Weilheimer Privatwäldern.

Kurzumtriebsplantagen (vgl. Kapitel 3.2.3.3) oder Abfallreste wie beispielsweise Straßenbegleitgrün.

**FAZIT: Die von den Stadtwerken Weilheim geplanten Standorte für Energiezentralen an der Kläranlage und am Kranlöchl sollten zeitnah errichtet werden. Der Ausbau von Fernwärmenetzen wird vorrangig in Gebieten mit hoher Wärmeabnahme erfolgen. Zur Beheizung des Wärmenetzes kann die im Stadtgebiet zur Verfügung stehende Biomasse nur einen Teil beitragen. Langfristig müssen auch andere Wärmeerzeuger wie z.B. Großwärmepumpen, Solarenergie oder Brennstoffzellen mit eingebunden werden.**

### 3.2.3.2 Biogas

Die Energiegewinnung durch Biogas gilt als innovativ, ist aber auch mit großen Herausforderungen verbunden. Durch Verbrennung von Biogas in BHKWs kann neben Strom auch die anfallende Abwärme genutzt werden. Somit kann eine besonders energetisch effiziente Nutzung dieses regenerativen Energieträgers stattfinden. Momentan ist im Energieatlas Bayern eine Biogasanlagen mit einer Leistung von 75 kW<sub>el.</sub> im Stadtgebiet von Weilheim eingetragen (LfU, 2022a).

Welche Biogaspotenziale innerhalb von Weilheim bestehen, um das in der Nutztierhaltung anfallende Düngematerial zum Vergären in Biogasanlagen und zur anschließenden Energieproduktion zu nutzen, ist in Tabelle 3-3 dargestellt. Nach der Vergärung kann die Biogasegülle sogar mit teils verbesserten Düngeeigenschaften wie vor der Vergärung auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden (Biogas Forum Bayern 2017). Auf die Ausweisung eines Biogaspotenzials durch Maisvergärung wurde verzichtet, da kaum geeignete Anbauflächen in Frage kommen. Darüber hinaus führen Maismonokulturen zahlreiche ökologische Nachteile mit sich.

Datengrundlagen der folgenden Biogaspotenzialanalyse für Weilheim sind die Nutztierstatistik sowie die durchschnittlichen Energiegewinne aus Festmist bzw. Gülle und den Betriebsstunden des BHKWs. Eine separate Berücksichtigung von Mastrindern und Milchkühen ist deshalb erforderlich, da sich die entsprechenden Energiepotenziale deutlich unterscheiden (siehe Tabelle 3-3). Gute Biogaserträge lassen sich auch mit Pferdemit erzielen (siehe Biogasanlage Reichersbeuern), weshalb dieser bei der Potenzialanalyse mitberücksichtigt wurde.

Der momentane Nutztierbestand in Weilheim beläuft sich auf insgesamt etwa 3.664 Rinder, wovon 1.600 Milchkühe sind. Die Anzahl der Einhufer (Pferde, Esel) im Stadtgebiet beträgt 177 (LfStat, 2021a). Bei gänzlicher Nutzung der anfallenden Gülle- und Festmistmengen ließen sich mit diesem Nutztierbestand ca. 912.916 m<sup>3</sup>/a Methan bzw. 3.173 MWh<sub>el.</sub>/a produzieren. Abzüglich der bestehenden Anlage liegt das verbleibende Potenzial bei **2.706 MWh<sub>el.</sub>/a**.

Tabelle 3-3: Berechnungsgrundlage Biogaspotenzial in Weilheim (FNR, 2014).

	<i>Berechnungsfaktor</i>		Anzahl TP	Potenzial MWh <sub>el</sub> /a
	[m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /TP*a]	[kWh <sub>el</sub> /TP *a]		
Mastrind (2,8 t Festmist/TP*a)	185	562	2.064	<b>1.160</b>
Milchkuh (17 m <sup>3</sup> Gülle/TP*a)	289	1.095	1.600	<b>1.752</b>
Einhufer (11,1 t Festmist/TP*a)	388	1.472	177	<b>261</b>
			<b>Gesamt</b>	<b>3.173</b>
			<b>Abzüglich bereits genutzter Potenziale</b>	<b>2.706</b>

Wie in Abbildung 3-8 dargestellt, entsprechen auf Basis der durchschnittlichen Vollbenutzungsstunden von deutschen Biogasanlagen (Agentur für Erneuerbare Energien 2013) 3.173 MWh<sub>el</sub>/a einer installierten Leistung von 510 kW<sub>el</sub>. Damit wären rechnerisch sechs 75 kW-Anlagen möglich, ausgehend von einer nahezu vollständigen energetischen Verwertung der aktuell anfallenden Gülle- und Festmistmengen. Anlagen mit Leistungen bis zu 75 kW<sub>el</sub> sind unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten insofern interessant, da diese nach dem EEG 2023 nicht unter die Ausschreibungspflicht fallen und derzeit einen erhöhten Vergütungshöchstwert von 22 ct/kWh erhalten, gemäß § 44 „Vergärung von Gülle“. Größere Anlagen mit einer Leistung bis 150 kW<sub>el</sub> erhalten eine Vergütung in Höhe von 19 ct/kWh (EEG, 2023). Abzüglich der bereits genutzten Potenziale ergeben sich weitere **fünf 75 kW<sub>el</sub> Anlagen** mit einem Erzeugungspotenzial von **2.706 MWh<sub>el</sub>**,

Grundvoraussetzungen einer solchen Anlagenrealisierung sind die Bereitschaft mehrerer Landwirte zum Zusammenschluss zu einer Betreibergesellschaft sowie eine sichergestellte Fortführung der Tierhaltung. Eine gleichzeitige Wärmenutzung ist prinzipiell wünschenswert, aber aufgrund der großen Abstände von Biogasanlagen zu potenziellen Wärmeabnehmern oftmals wirtschaftlich nicht realisierbar.



Abbildung 3-8: Die sich aus dem Nutztierbestand in Weilheim ergebenden Biogaspotenziale.

**FAZIT: Nur mit dem Zusammenschluss mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe ergäbe sich ein realistisches Potenzial zur Installation neuen Biogasanlagen.**

### 3.2.3.3 Alternativen

Die naturräumlichen Voraussetzungen für Energiemais als derzeit am häufigsten angebaute Energiepflanze in Mitteleuropa sind in und um Weilheim meist nicht gegeben. In ackerbaulich benachteiligten Gebieten wie dem Voralpengebirgsraum können in Zukunft jedoch unter Umständen **alternative Biogassubstrate** an Bedeutung gewinnen. Das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), die Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG) sowie das Technologie- und Förderzentrum für Nachwachsende Rohstoffe untersuchen seit einigen Jahren Alternativen zum Energiemais und entwickeln entsprechende Anbaukonzepte (Biogas Forum Bayern, 2017). Erste Versuche zeigen, dass in Alpenvorlandgebieten unter Umständen Zweitfruchtanbausysteme oder mehrjährige Energiepflanzenkulturen (z.B. Sida oder Riesenweizengras) attraktiv werden könnten. Derzeit existieren kaum langjährige Erfahrungen zu alternativen Energiepflanzenfruchtfolgen oder mehrjährigen Energiepflanzen, so dass hier weiterer Forschungsbedarf besteht. Auf eine Quantifizierung möglicher Potenziale wurde vor diesem Hintergrund verzichtet. Aktuelle Versuchsergebnisse können in den „Informations- und Demonstrationzentren Energiepflanzenanbau“ an zehn Standorten in Bayern besichtigt werden (<http://biogas-forum-bayern.de/energiepflanzen>).



Abbildung 3-9: Beispiele für alternative Biogassubstrate: Sida (1) und Riesenweizengras (2), mit denen jeweils hohe Biogaserträge erzielt werden können (Biogas Forum Bayern, 2017).

Eine weitere Möglichkeit zum Energiepflanzenanbau sind sogenannte **Kurzumtriebsplantagen (KUP)**. Nicht nur die fossilen Energieträger steigen aktuell im Preis, auch der regenerative Brennstoff Holzpellets erfährt erhebliche Preissteigerungen. Hintergrund ist zum einen die gesteigerte Nachfrage aufgrund der hohen Förderung von Pelletkesseln, zum anderen ist zur Herstellung und Logistik des Brennstoffs ebenfalls Energie erforderlich. Je kürzer die Wege zur Produktion sind, desto geringer fallen die Preissteigerungen aus. Der aus Waldrestholz aufbereitete Brennstoff Energieholz wird im Landkreis bereits gut genutzt. Mit der Umsetzung zahlreicher Dorfheizungen und der geplanten Errichtung von Energiezentralen für die Städte Penzberg und Weilheim werden diese Potenziale zur Erreichung der Klimaschutzziele benötigt. Zusätzlich zum Potenzial aus Waldrestholz könnte

Energieholz in den KUPs angepflanzt werden. Nach einer ca. fünfjährigen Wachstumsphase können die Plantagen geerntet und weiter zu Hackschnitzel verarbeitet werden. Der Anbau von KUP ist insbesondere auf Ackerflächen mit guter Wasserversorgung und schlechter Nährstoffversorgung eine interessante Alternative und wird in wissenschaftlichen Untersuchungen als ökologisch wertvoll eingestuft (Strohm et al., 2012). Zudem kann der Anbau von Kurzumtriebspflanzen zu einer Minderung der Erosionsgefahr führen, welche durch starke Degradation der landwirtschaftlichen Flächen entstehen kann. KUP können auch als ökologische Vorrangfläche (ÖVF) im Rahmen des Greenings angerechnet werden. Insofern stellen KUP eine interessante Alternative für Landwirte dar, um die Greening-Anforderungen zu erfüllen.

Unregelmäßige Zahlungsströme, eine lange Flächenbindung und niedrige Hackschnitzelpreise sind dagegen derzeit die Gründe, warum die Bereitschaft gegenüber dem Anbau von KUP häufig noch gering ist. KUP-Flächen sind im Mehrfachantrag als eigene Kultur aufgeführt und förderfähig; Kodierung im Flächennachweis 841 „Niederwald im Kurzumtrieb“. Energiewald wird aufgrund der sehr positiven Umweltwirkung als Ökologische Vorrangfläche anerkannt. Mit dem Anbau von z.B. Max-Pappeln oder Weiden kann man sich die KUP-Fläche mit einem Faktor von 0,5 pro ha Anbaufläche anrechnen lassen. Keinesfalls sollte mit dem Anbau von Energieholz die Flächennutzung zur Erzeugung von Lebensmitteln eingeschränkt werden.

Sollte sich eine Fläche innerhalb eines Schutzgebietes befinden, wird je nach Schutzgebietsverordnung im Einzelfall entschieden, ob der Anbau von KUP möglich ist. Im Falle von FFH-Flächen sollten keine Einwände bestehen, solange es durch den Anbau zu keiner Verschlechterung des Bodens führt. Zum Beispiel wäre es denkbar, auf einer zuvor intensiv genutzten trockenen oder feuchten Wiese oder Ackerland eine KUP anzupflanzen.

Zur Standortbewertung stellt die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) die Ergebnisse eines Ertragsmodells im Internet zur Verfügung, mit dem sich Erträge im Pappelanbau einschätzen lassen. Unter dem Link <https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassenutzung/120929/index.php> wird aktuell für die Stadt Weilheim ein Potenzial von 12-15 t Hackschnitzel pro Hektar und Jahr ausgewiesen. Dies entspricht einem jährlichen Energiegehalt von 5.000 bis 7.000 Litern Heizöl pro Jahr.

Der Anbau einer Kurzumtriebsplantage ist in Bayern genehmigungspflichtig, es ist ein Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis nach Art. 16 Abs. 1 BayWaldG beim zuständigen Amt für Landwirtschaft und Forsten zu stellen.

**FAZIT: Auf eher ortsfernen, landwirtschaftlich aufwendig zu bewirtschafteten Flächen könnte die Pflanzung interessant sein.**

### 3.2.4 Windenergie

Die Windkraft gehört zu den kostengünstigsten regenerativen Stromerzeugungsformen, vorausgesetzt Windhäufigkeit und Windgeschwindigkeiten am Standort sind gegeben. Die Windenergienutzung zeichnet sich besonders durch einen geringen Flächenverbrauch, eine geringe energetische Amortisationszeit (3 bis 6 Monate) und einem nahezu emissionslosen Anlagenbetrieb aus. Mit dem Erlass der 10-H-Regelung ist der Ausbau der Windkraft in Bayern jedoch faktisch zum Erliegen gekommen.

Allerdings können die Städte und Gemeinden im Wege der Bauleitplanung Baurecht für Windenergieanlagen schaffen, ohne bei der Aufstellung entsprechender Flächennutzungs- und Bebauungspläne an den 10-H Abstand gebunden zu sein. So regelt Art. 82 Abs. 1 Bay-BO nur die Frage der Privilegierung von Windenergieanlagen im unbeplanten Außenbereich.

Die Gebietskulisse in Abbildung 3-10 zeigt die Gebietskulisse zur Eignung von Flächen für Windkraftanlagen. Das gesamte Stadtgebiet wird mit einer geringen Windhöffigkeit (mittlere Windgeschwindigkeit unter 4,5 m/s in 130 Metern Höhe) eingestuft und wurde somit nicht weiter untersucht.

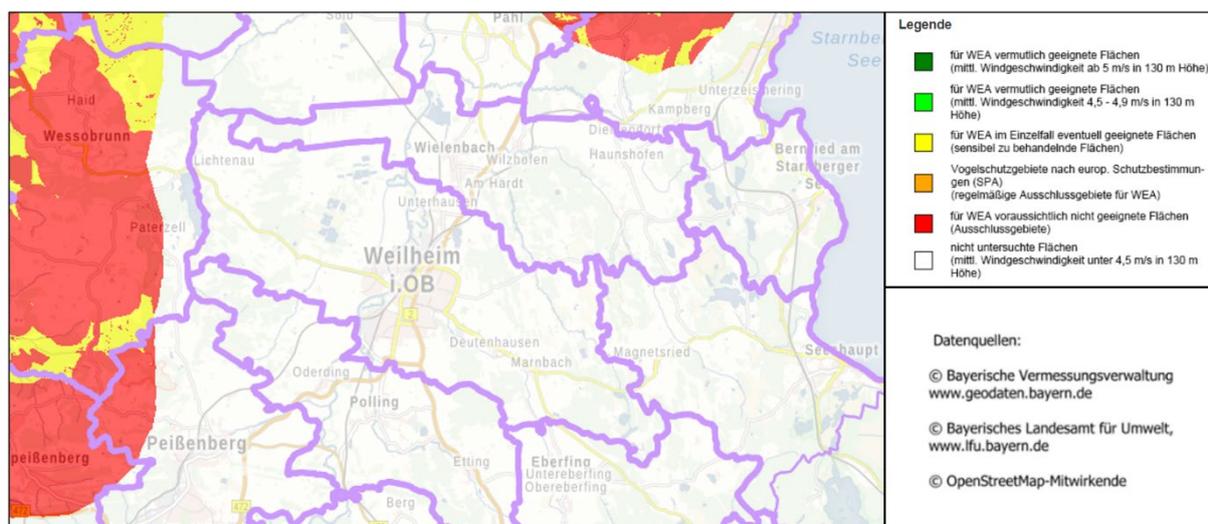


Abbildung 3-10: Gebietskulisse Windkraft Stadtgebiet Weilheim.

Aufgrund der sich derzeit ändernden gesetzlichen Rahmenbedingungen und Ausbauziele wird die Windkraft auch im Regionalplan neu bewertet werden, so dass auch die weißen Bereiche möglicherweise in den Fokus der Windkraftnutzung rücken könnten. Im Folgenden wird das Potenzial für Groß- als auch für Kleinwindanlagen untersucht.

### 3.2.4.1 Großwindanlagen

Der Mindestwert für den wirtschaftlichen Betrieb einer Großwindkraftanlage (mit ca. 130 m Nabenhöhe) liegt in Abhängigkeit von der Einspeisevergütung bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von etwa 4,5 bis 5,0 m/s auf Nabenhöhe (Kaltschmitt et al., 2013).

Wie in Abbildung 3-11 zu erkennen ist, befinden sich im Westen des Stadtgebietes (Lichtenau – Tankenrain) Flächen, die gemittelte Windgeschwindigkeiten von über 4,5 bis 4,6 m/s aufweisen. Auch im Osten (z.B. im Hardt) befinden sich demnach einige kleinere Bereiche, in denen diese Windgeschwindigkeiten erreicht werden können. Mit zunehmender Höhe nimmt die Windgeschwindigkeit zu, was auch mit einem höheren Erzeugungspotenzial einhergeht. Für den Standort Lichtenau weist der Energieatlas Bayern für eine fiktive Anlage mit einer Leistung von 5 MW in 140 m einen Standortertrag von **7.000 MWh/a** aus. Im Vergleich zu einer vergleichbaren Anlage an einem Referenzstandort mit idealen Bedingungen beträgt die Standortgüte damit 41 – 43 %.

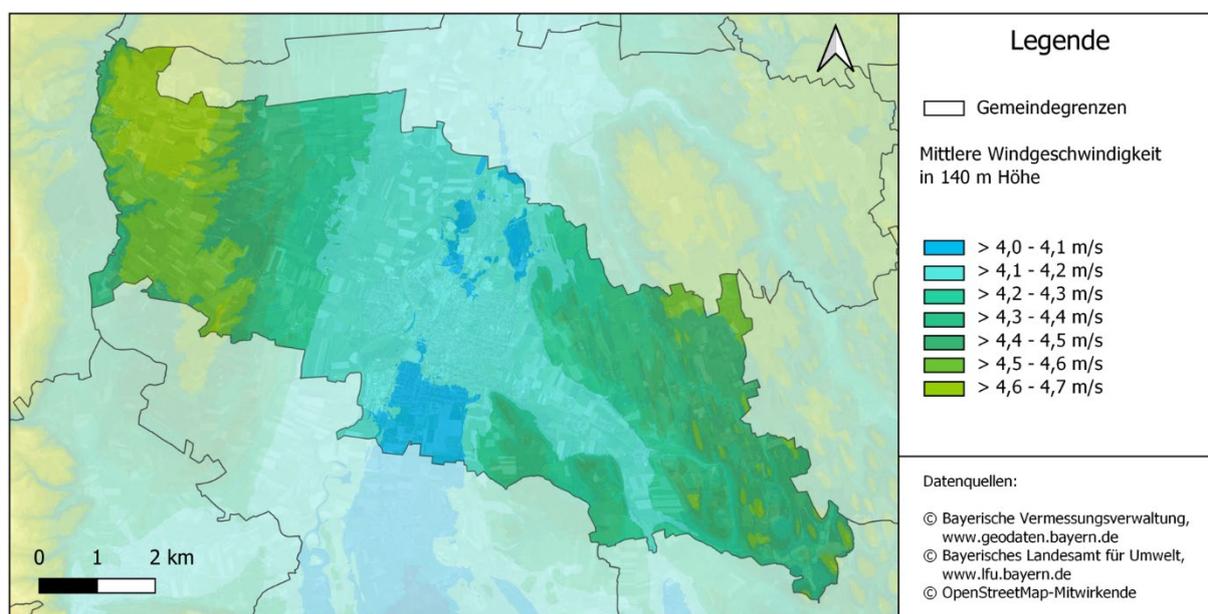


Abbildung 3-11: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 140 m Höhe über Weilheim.

**FAZIT: Kein wirtschaftlich nutzbares Potenzial für große Windkraftanlagen vorhanden.**

### 3.2.4.2 Kleinwindkraftanlagen

Bei Kleinwindkraftanlagen ist ein Mindestwert der Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s auf Nabenhöhe, die Windgeschwindigkeitsverteilung, eine möglichst freie Anströmung in Hauptwindrichtung sowie ein hoher Eigenverbrauchsanteil für einen wirtschaftlichen Betrieb nötig (BWE, 2013). Welche mittleren Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe in Weilheim zu erwarten sind, ist in Abbildung 3-12 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Windgeschwindigkeiten über Weilheim bei 1,75 bis 3,0 m/s liegen. Damit kann für Weilheim kein Potenzial für Kleinwindkraftanlagen ausgewiesen werden. Im Einzelfall kann ein Betrieb

dann in Betracht gezogen werden, wenn es keine öffentliche Stromversorgung gibt und keine alternativen regenerativen Energieerzeugungsformen zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus bieten sich Kleinwindkraftanlagen mit Pilotprojektcharakter dann an, wenn eine hohe technische Affinität zu innovativen Energielösungen besteht und der Betrieb unabhängig von wirtschaftlichen Überlegungen erfolgen kann. Prinzipieller Vorteil solcher Eigenverbrauchslösungen ist, dass sich das Bewusstsein zum eigenen Energieverbrauch signifikant verändert und dies zu einer nachhaltigen Veränderung des eigenen Verbrauchsverhaltens im positiven Sinne führt.

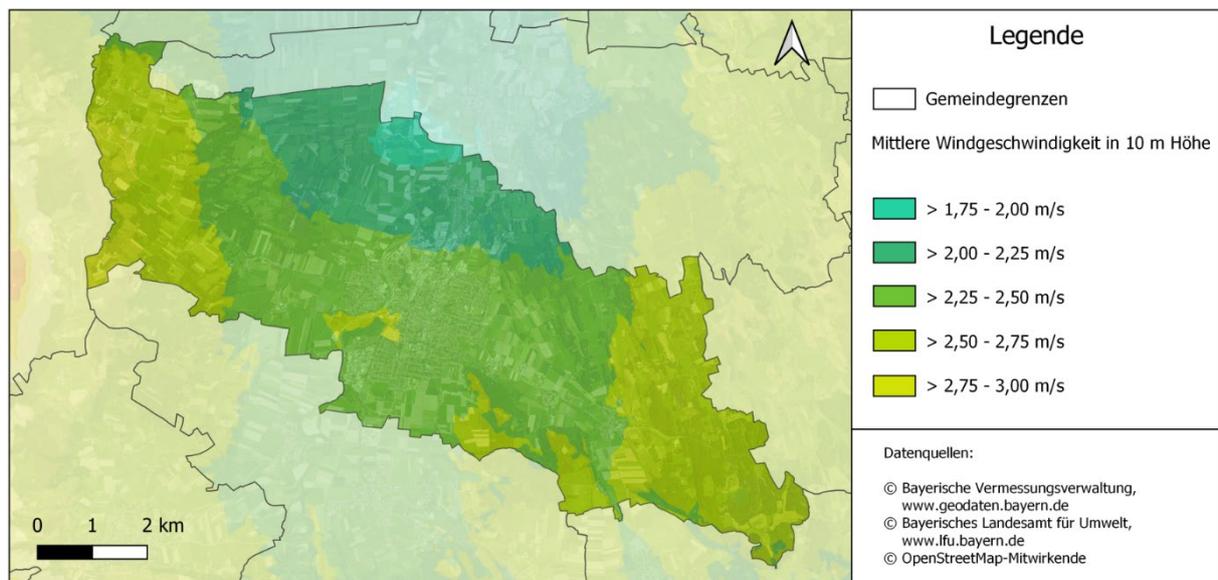


Abbildung 3-12: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 10 m Höhe über Weilheim.

**FAZIT: Kein nutzbares Potenzial für Kleinwindkraftanlagen vorhanden.**

### 3.2.5 Wasserkraft

Wasserkraft ist aufgrund der Energieumwandlung mit sehr hohem Wirkungsgrad neben der Windenergie ebenfalls eine sehr kostengünstige und energieeffiziente Form der regenerativen Stromerzeugung. Auf Basis der bisherigen rechtlichen Rahmenbedingungen waren jedoch fast ausschließlich Potenziale durch Modernisierung und Nachrüstung sowie durch Neubau an bestehenden Querbauwerken realisierbar (LfU, 2019).

Schon 2014 und 2016 gab es Studien zur Wasserkraftnutzung am Oderdinger Wehr. Auch die Option für den neuen Anlagentyp eines Schachtwasserkraftwerkes wurde dabei untersucht. Diese neuen Anlagen, wie z.B. in Großweil realisiert (Wasserkraftwerk Großweil GmbH, 2015), erfüllen gewässerökologisch höhere Anforderungen und ermöglichen so eine fischverträgliche Nutzung der Wasserkraft.

Die 2016 erstellte Studie ermittelt für ein solches Kraftwerk ein Erzeugungspotenzial von **1,03 GWh/a**, die grundlastfähig zur Verfügung ständen. **493 t CO<sub>2</sub>** könnten damit eingespart werden.

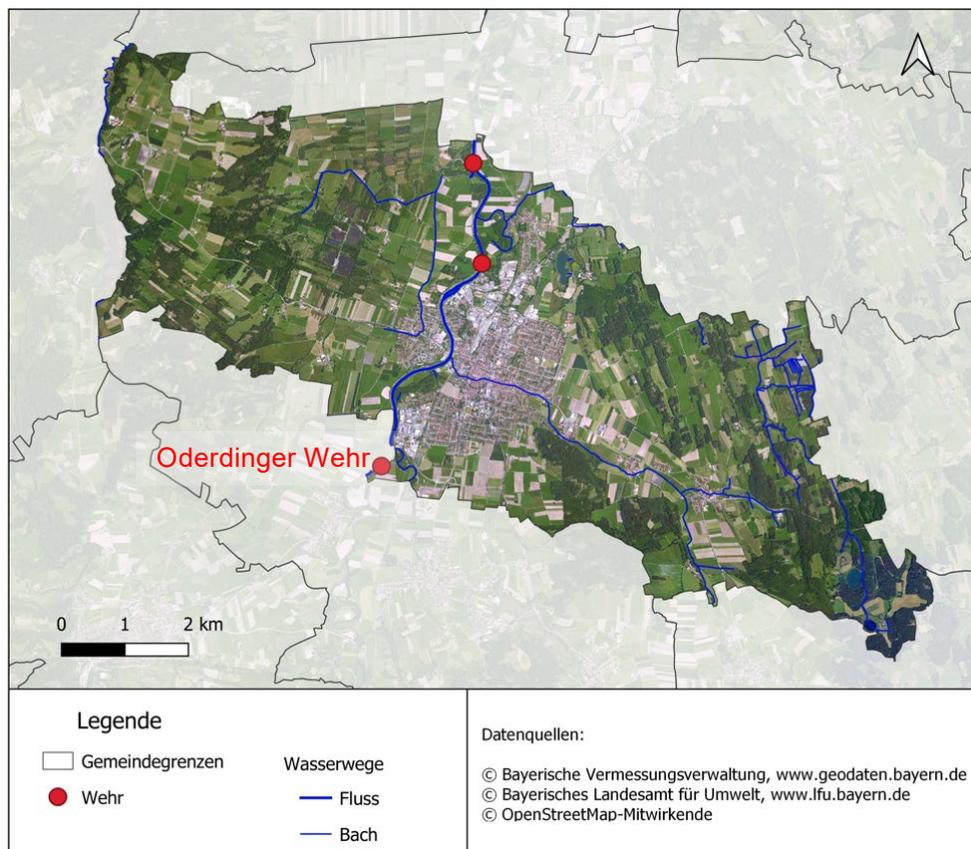


Abbildung 3-13: Gewässerkulisse von Weilheim.

**FAZIT:** Im Zuge des geplanten Umbaus des Oderdinger Wehrs zur rauen Rampe sollte die Wasserkraftnutzung mitgeplant und realisiert werden. Gem. § 2 EEG 2023 liegt die Nutzung aller erneuerbarer Energien im „überragenden öffentlichen Interesse“ und „dient der öffentlichen Sicherheit“ (EEG, 2023). Damit gelten die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in der Schutzgüterabwägung. So auch die Nutzung der Wasserkraft.

### 3.2.6 Oberflächennahe Geothermie

Die Nutzung oberflächennaher geothermischer Energie als alternative, umweltfreundliche Energiequelle hat großes Potenzial und gewann in den letzten Jahren dank technologischer Weiterentwicklungen immer mehr an Bedeutung. Erdwärme ist außerdem eine sehr stabile, krisensichere und konstante Energiequelle, da diese im Gegensatz zur Solar- und Windenergie, welche infolge der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung und des Windangebots tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen, unabhängig ist. Zudem geht diese Technologie ohne Eingriffe ins Landschaftsbild einher. Der Entzug von Erdwärme aus oberflächennahen Erdschichten erfolgt mittels Wärmepumpen. Dabei wird der Umgebung aus dem Grundwasser oder dem Erdreich Wärme entzogen und zum Heizen

ins Hausinnere geleitet. Per Definition wird die Nutzung bis 400 m Tiefe als oberflächennahe Geothermie bezeichnet (LfU, 2020). In der Praxis werden in aller Regel aber nur Tiefen bis 100 m erschlossen, da bergrechtlich (BBergG §127) Bohrungen bis zu 100 m freigestellt sind. Tiefere Bohrungen müssen der zuständigen Bergbehörde angezeigt werden (Hähnlein et al., 2011). Der Gebrauch von Wärmepumpen zur Nutzung der Erdwärme erlaubt es zudem, neben der Bereitstellung von Wärmeenergie, auch Gebäude zu kühlen. So kann beispielsweise ein Gebäude mit Hilfe einer Wärmepumpe im Winter beheizt und im Sommer gekühlt werden. Für die Nutzung von Umgebungsluft kommen Luft-Wärmepumpen mit ähnlichem Prinzip zum Einsatz. Jedoch ist die Verwendung im Sinne der Energiewende oftmals suboptimal. Denn immer dann, wenn die Luftwärmepumpe viel Strom benötigt (kalte Witterung), steht i.d.R. wenig erneuerbarer Strom zu Verfügung. In größeren Gebäuden könnte eine Kombination von Luftwärmepumpe mit einem Gas-Brennwertgerät die CO<sub>2</sub> – Bilanz eines Gebäudes deutlich verbessern.

Prinzipiell ist die Nutzung von Erdwärme nur dann ökologisch sinnvoll, wenn niedrige Vorlauftemperaturen zur Beheizung von Gebäuden erforderlich sind. Denn die Wärmepumpe arbeitet umso besser, je niedriger das Temperaturniveau ist, auf das diese das Heizwasser aufheizen muss. Je kleiner der Temperaturunterschied zwischen dem Medium und der Vorlauftemperatur, desto höher ist der Wirkungsgrad. Gut geeignet ist der Einsatz von Wärmepumpen demnach bei Neubauten mit Flächenheizungen, aber auch bei älteren Gebäuden, deren Wärmebedarf durch Sanierungsmaßnahmen reduziert wurde. Der zum Betrieb von Wärmepumpen notwendige Strom sollte möglichst gering sein und durch regenerative Energien, wie z.B. durch eine PV-Anlage bereitgestellt werden. Eine Aussage über die Energieeffizienz der eingesetzten Wärmepumpe gibt die sogenannte Jahresarbeitszahl (JAZ).



*Die JAZ beschreibt das Verhältnis zwischen der jährlich abgegebenen Nutzwärme und der eingesetzten elektrischen Energie.*

*"Effiziente oberflächennahe geothermische Anlagen haben eine JAZ größer vier. Das bedeutet, dass mit 3 Teilen Erdwärme (75 %) und 1 Teil Strom für die Wärme- und Umwälzpumpen (25 %) 4 Teile (100 %) Nutzwärme für Heizung und Warmwasser erzeugt werden können (LfU, 2013)".*

Prinzipiell gibt es verschiedene Systeme, wie dem Erdreich oberflächennah Wärme entzogen werden kann. Dazu zählen:

**Erdwärmekollektoren:** Erdwärmekollektoren sind flache, oberflächennahe Erdwärmennutzungssysteme, die in Tiefen bis 5 m die Erdwärme nutzen. Für diese Technologie ergibt sich ein hoher Flächenbedarf.



**Erdwärmesonden:** Eine Erdwärmesonde wird im Gegensatz zu den Erdwärmekollektoren in tiefere Erdschichten eingebracht. Diese kommen mit einem deutlich geringeren Platzbedarf aus.



Für die Verlegung von Erdwärmesonden werden Erdbohrungen bis zu 100 Meter Tiefe durchgeführt. Bei solch tiefen Bohrungen kann neben der Wärmeenergie auch Energie zur Stromproduktion gewonnen werden. Erdwärmesonden sind weitaus effektiver als Erdwärmekollektoren. Dies hängt damit zusammen, dass die Temperatur mit zunehmender Bohrtiefe wärmer und konstanter wird. Ab 15 Meter liegt die Temperatur bei konstanten 10 °C. Danach steigt die Temperatur pro 30 Meter um 1 °C. Die Bohrtiefe und Anzahl der Erdwärmesonden hängt vom erforderlichen Wärmebedarf ab.

**Grundwasser-Wärmepumpen:** Eine Grundwasser-Wärmepumpe benutzt die im Grundwasser enthaltene Wärme, um damit zu heizen. Da Grundwasser im Jahresverlauf eine konstant hohe Temperatur aufweist, ist es als Wärmequelle hervorragend geeignet. Die Tiefe der Bohrung richtet sich nach der Höhe des Grundwasserspiegels. Aus dem Förderbrunnen wird das Grundwasser nach oben gepumpt und durch Rohre zur Wärmepumpe geleitet. Das abgekühlte Wasser wird dann in einem zweiten Brunnen (Schluckbrunnen) wieder abgeleitet. Bei dieser Variante müssen Gewässerschutzrichtlinien eingehalten und eine Genehmigung beantragt werden. Auch hier ist die Möglichkeit gegeben im Sommer das Grundwasser zur Kühlung zu nutzen (LfU, 2020).



**Luft-Wärmepumpe:** Diese Aggregate können der Umgebungsluft Wärme entziehen und Wärme für Heizung und Warmwasser zur Verfügung stellen. Im Vergleich zu oben angeführten Wärmequellen ist eine Luftwärmepumpe mit weniger Aufwand zu installieren. Der Nachteil ist eine geringere Arbeitszahl gerade bei kalter Witterung. Ein monovalenter Betrieb ist daher nur bei Neubauten von einem Ein- oder Zweifamilienhaus mit großen Heizflächen sinnvoll. Größere Gebäude vor allem mit Warmwasserbereitung sollten zusätzlich

eine Heizquelle für höhere Vorlauftemperaturen oder zur hygienischen Warmwasserbereitung vorhalten.

Wo der Einsatz der dargestellten Erdwärmesysteme in Weilheim möglich ist und in welchen Gebieten Einschränkungen existieren, wird in den folgenden Abschnitten im Detail dargestellt. Nutzungseinschränkungen ergeben sich vorwiegend aus wasserschutzrechtlichen Gründen. Beispielsweise ist in der Zone I bis III/IIIA von Wasserschutzgebieten der Bau und Betrieb von Erdwärmesonden i.d.R. verboten. Vor Auftragsvergabe sind von Planern, Handwerksbetrieben oder Wärmepumpenherstellern die Gegebenheiten am Standort unbedingt zu prüfen. Für weiterführende Informationen sei insbesondere auf die Publikation „Oberflächennahe Geothermie“ (LfU, 2020) verwiesen.

### 3.2.6.1 Potenziale für Erdwärmekollektoren

Die Nutzung von Erdwärmekollektoren ist im besiedelten Stadtgebiet von Weilheim in weiten Teilen möglich und durch keine gesetzlichen Einschränkungen betroffen (Abbildung 3-14). Nicht möglich ist die Nutzung in den Trinkwasserschutzgebieten, wo Bohrungen grundsätzlich nicht zulässig sind.

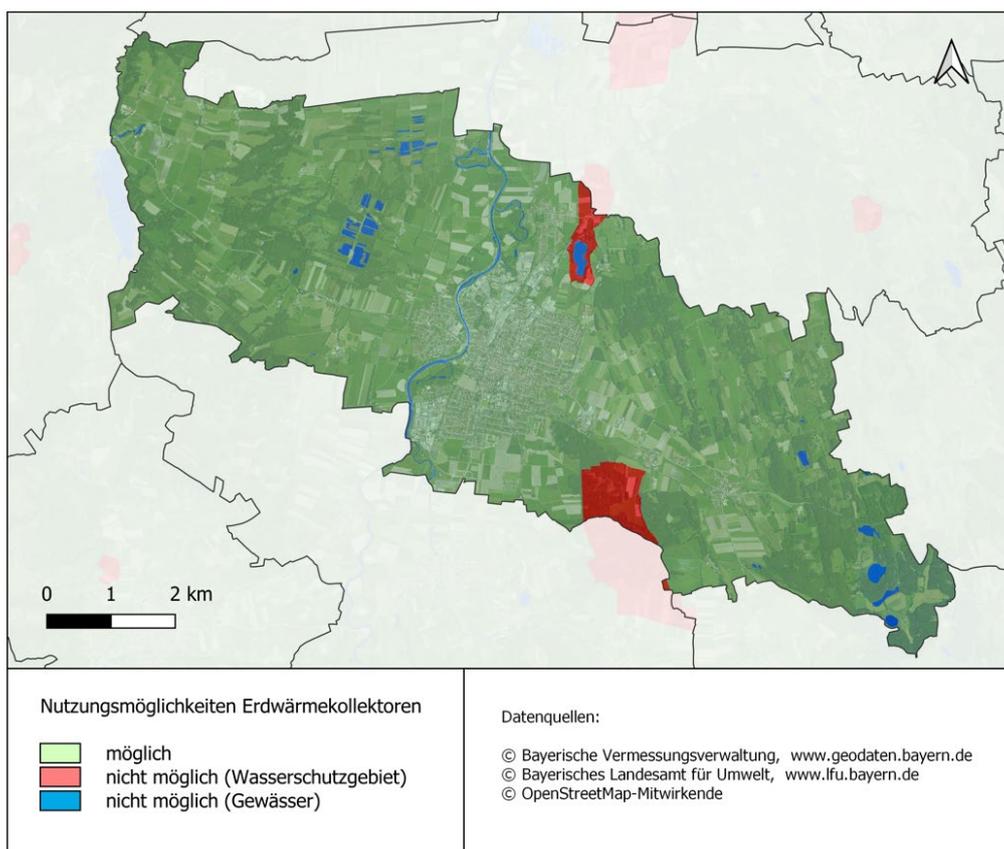


Abbildung 3-14: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmekollektoren in Weilheim.

**FAZIT: Erdwärmekollektoren oder –körbe können bei Neubauten effizient eingesetzt werden, sofern genügend Fläche vorhanden ist. Im Bestand ist der Aufwand für den Tiefbau in der Regel zu hoch.**

### 3.2.6.2 Potenziale für Erdwärmesonden

Gegenüber Erdwärmekollektoren haben Erdwärmesonden den entscheidenden Vorteil, dass diese mehr oder weniger unabhängig von Witterungseinflüssen sind, die an der Erdoberfläche herrschen. Besonders im Neubaubereich mit geringem Wärmebedarf kann diese Technologie eine interessante Option zur Wärmebereitstellung darstellen.

Wie Abbildung 3-15 zeigt, ist die Nutzung von Erdwärmesonden in Weilheim auf den gleichen Flächen wie für die Anwendung von Erdwärmekollektoren möglich. In den Gebieten mit potenziell möglicher Nutzung sind Einzelfallprüfungen durch die Untere Wasserbehörde in der örtlich zuständigen Kreisverwaltungsbehörde durchzuführen. Ausgenommen sind auch hier die zwei vorhandenen Trinkwasserschutzgebiete.

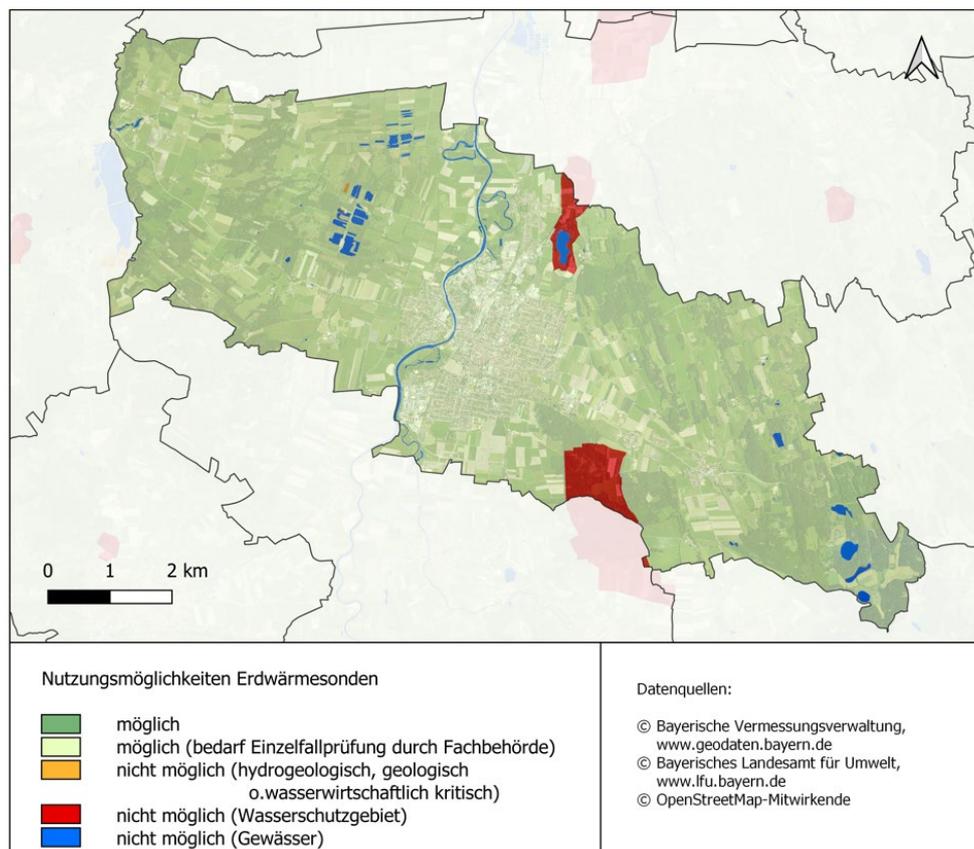


Abbildung 3-15: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmesonden in Weilheim.

**FAZIT: Insbesondere bei Neubauten oder gut sanierten Bestandsgebäuden sollte die Einsatzmöglichkeit dieser Technologie geprüft werden.**

### 3.2.6.3 Potenziale für Grundwasserwärmepumpen

Die Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen auf dem Stadtgebiet von Weilheim sind in Abbildung 3-16 abgebildet.

In einem Großteil des besiedelten Gebietes ist die Nutzung von Grundwasserwärmepumpen durchaus möglich. In diesen Bereichen besteht der Untergrund aus Kies oder sandig

bis tonig-schluffigem Schotter. Ausschlussgebiete, welche aus wasserwirtschaftlichen Gegebenheiten kritisch sind, werden in Abbildung 3-16 farblich rot gekennzeichnet. Zusätzlich befinden sich Moorgebiete in Weilheim, welche eine Anwendung von Grundwasserwärmepumpen ausschließen.

Unabhängig von den hier gemachten Nutzungsmöglichkeiten prüft im Einzelfall die Untere Wasserbehörde in der örtlich zuständigen Kreisverwaltungsbehörde die Zulässigkeit einer Anlage. Zudem muss beachtet werden, dass bedingt durch die geringen Grundwassertemperaturen die Effizienz von Grundwasserwärmepumpensystemen in Weilheim i.d.R. geringer als im Bundesdurchschnitt ist. Hier muss zusätzlich bedacht werden, dass dem knapp 8 Grad kalten Grundwasser nochmal bis zu 5 Grad Wärme entzogen wird.

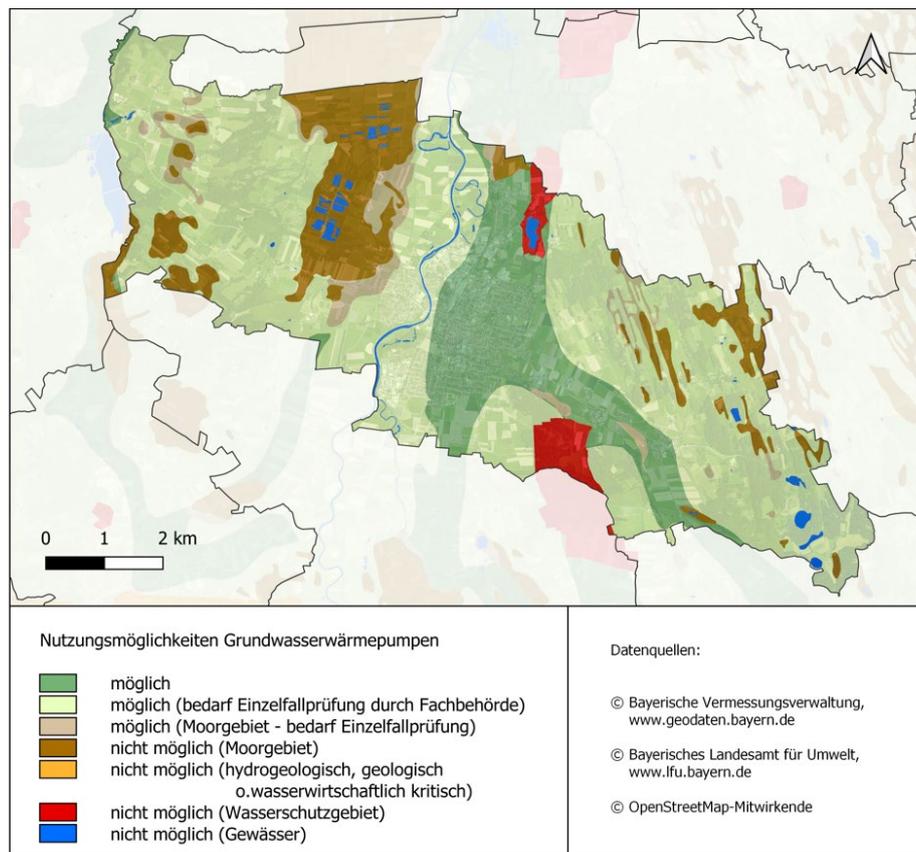


Abbildung 3-16: Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen in Weilheim.

**FAZIT:** In den geeigneten Bereichen können Grundwasser-Wärmepumpen langfristig ein wirtschaftlich sinnvolles Potenzial für die regenerative Wärmeversorgung erschließen. Vor allem in Neubauten oder gut sanierten Gebäuden ist deren Einsatz zu empfehlen.

### 3.2.6.4 Gesamtpotenzial für oberflächennahe Geothermie bis 2035

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Nutzungsmöglichkeiten und Einschränkungen oberflächennaher Geothermie-Systeme explizit für die Stadt Weilheim dargestellt.

Dabei hat sich gezeigt, dass insbesondere der Einsatz von Grundwasserwärmepumpen und Erdwärmesonden nicht überall uneingeschränkt einsetzbar ist. Die Nutzung von Erdwärmekollektoren ist dagegen in weiten Teilen des Stadtgebietes möglich.

Um den Beitrag zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu gewährleisten ist beim Einsatz von Wärmepumpen zudem zu beachten, dass der zum Betrieb notwendige Stromverbrauch aus erneuerbaren Quellen erfolgt.

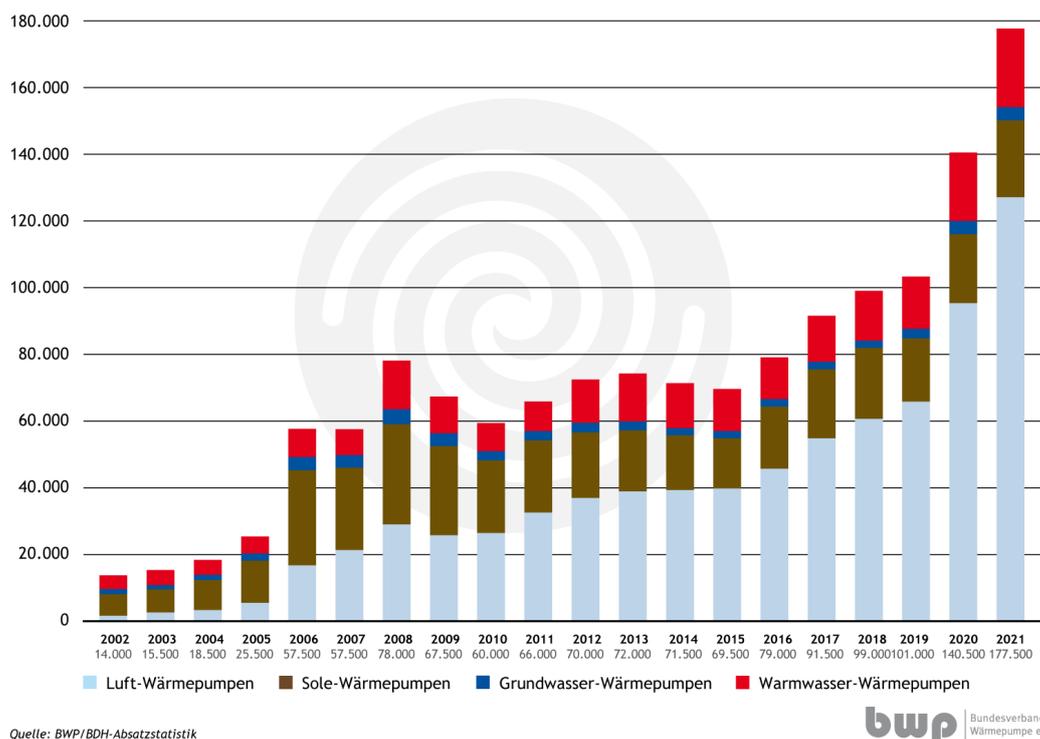


Abbildung 3-17: Absatzentwicklung Wärmepumpen nach Wärmepumpentypen, Deutschland 2002-2021.

Die Quantifizierung eines Gesamtpotenzials für oberflächennahe Geothermie gestaltet sich schwierig, da diese Energieform nach menschlichen Maßstäben im Boden nahezu unerschöpflich vorhanden ist. In den vergangenen Jahren ist die Zubaurate beim Neubau sowie bei sanierten Gebäuden deutlich gestiegen. Abbildung 3-17 stellt die Entwicklung der Absatzzahlen an Wärmepumpen pro Jahr ab 2002 dar. Zahlen über den Zubau für Weilheim liegen ab 2007 vor. Betrachtet man die deutschlandweite Entwicklung seit diesem Zeitpunkt so ist eine Verdreifung des Absatzes pro Jahr zu erkennen. Dieser Trend wird auch für Weilheim angenommen. Bei einer Verdreifung des Zubaus pro Jahr ergibt sich ein Potenzial von mindestens **23.130 MWh Wärme** zusätzlich aus oberflächennahen Geothermie Systemen.

### 3.2.6.5 Sonderformen der oberflächennahen Geothermie

Wo die in dem vorangehenden Kapitel beschriebenen Techniken nicht einsetzbar sind, können Sonderformen als Wärmequellen für Sole/Wasser/Wärmepumpen dienen.

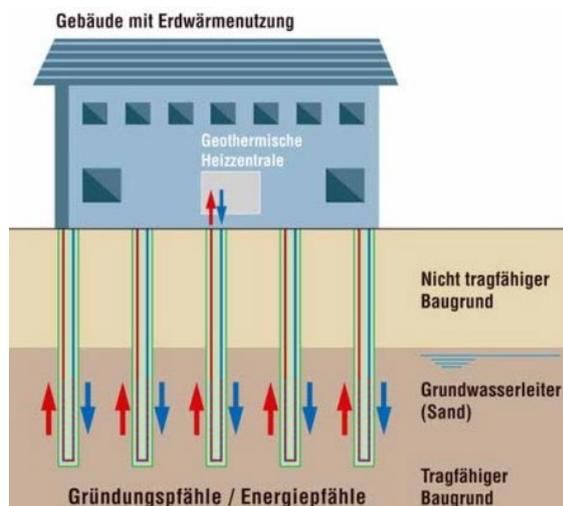
## Wärmekörbe



Für eine Wärmequelle auf engerem Raum könnten sogenannte Erdwärmekörbe sorgen. Dies sind vorgefertigte Wärmetauscher, die auf relativ kleiner Fläche dem Erdreich Wärme entziehen können.

Abbildung 3-18: Beispielansicht eines Erdwärmekorbs.

## Energiepfähle



In zukünftigen Neubauten wäre die Installation von Energiepfählen beim Bau des Gebäudfundaments möglich. In Frage kommt das bei Gebäuden, bei welchen zur Stabilisierung des Baukörpers Betonpfähle vor Fertigstellung der Bodenplatte eingebracht werden. Die Pfahlgründungen könnten thermisch genutzt werden. Je nach erforderlicher Wärmeleistung eines Gebäudes können Rohrleitungen vorab in die Armierung der Pfähle installiert werden (Baunetz Wissen, 2022).

Abbildung 3-19: Das Prinzip von Energiepfählen (www.baunetzwissen.de).

### 3.2.7 Abwärme

Die Vorteile der Abwärmenutzung liegen in der Reduzierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Reduzierung der Schadstoffemissionen. Dies führt zu geringeren Betriebskosten bzw. zu geringeren Investitionskosten der Wärmeerzeugungsanlage. Wie die folgenden Kapitel erläutern, liegen die Potenziale in Weilheim in der Abwärmenutzung des Abwassers sowie der KWK-Anlagen.

Der Energieatlas Bayern enthält eine Abwärme-Informationsbörse (LfU, 2022a). Ziel der Informationsplattform ist es, Anbieter und Nutzer von Abwärme zusammenzubringen. Hier können über ein Online-Formular Einträge von Abwärmequellen oder -senken vorgenommen werden, welche dann in die Karte des Energieatlas Bayern aufgenommen werden. Insbesondere interessant ist dies dann, wenn die Entstehung von Abwärme unvermeidbar ist und auch keine Möglichkeit für eine betriebsinterne Nutzung existiert. Bisher sind im Stadtgebiet von Weilheim noch keine Abwärmequellen eingetragen.

Ob ein einzelner Betrieb über ein sinnvoll nutzbares Abwärmepotenzial verfügt, kann mit Hilfe des Abwärmerechners des LfU ermittelt werden: <https://www.umweltpakt.bayern.de/abwaermerechner/index.php>. Der Rechner beurteilt ebenso, ob die Abwärme zur Gewinnung von Strom oder Kälte genutzt werden kann und ob die Nutzung wirtschaftlich lohnend ist.

Informationen zu Förderprogrammen zur Abwärmenutzung in Betrieben sind in Kapitel 6.4 zusammengefasst.

### **3.2.7.1 Abwärmenutzung Abwasser**

An der Kläranlage Weilheim werden durchschnittlichen 5.500 m<sup>3</sup> Abwasser pro Tag gereinigt. Nach der mehrstufigen Reinigung könnte vor Einleitung in die Ammer dem Wasser über eine Wärmepumpe Wärme entzogen werden. Wie bei allen Wärmepumpen-Prozessen ist eine Nutzung für hohe Temperaturen aufwendig, die Beschickung eines Niedertemperatur-Systems jedoch sehr wirtschaftlich. Die Abwärme des bestehenden Klärgas-BHKWs wurde bisher u.a. zur Beheizung des Faulturms verwendet. Die KWK-Anlage stellt hohe Temperaturen zur Verfügung, die ggf. auch für die Beschickung des zukünftigen Wärmenetzes genutzt werden könnten. Der Faulturm könnte zum Teil mit rückgewonnener Wärme aus dem abfließenden Abwasser beschickt werden. Eine Quantifizierung des Potenzials ist an dieser Stelle nicht möglich, es hängt von den erforderlichen Vorlauftemperaturen für die Prozesse in der Kläranlage ab.

### **3.2.7.2 Abwärmenutzung aus Kraft-Wärme-Kopplung**

Anlagen zur kombinierten Erzeugung von Wärme und Strom, sog. Blockheizkraftwerke (BHKWs), ermöglichen eine dezentrale und besonders effiziente Energieversorgung.

Aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz können BHKWs selbst bei Verwertung fossiler Brennstoffe aktiv zu einer Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen.

Wirtschaftlich sinnvoll ist der Einsatz von KWK-Lösungen insbesondere dort, wo Wärme und Strom auf engstem Raum in ausreichenden Mengen nachgefragt werden. Dabei sollte über das ganze Jahr eine relativ konstante Grundlast im Wärmebereich vorhanden sein und das BHKW mindestens 5.500 von 8.760 Jahresstunden in Betrieb sein. Es lohnt sich also besonders für Gebäude, die hohe Strom- und Wärmeverbräuche haben, wie z.B. dem Hallenbad Weilheim.

Derzeit (Stand 2020) werden im Stadtgebiet 25 KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 323,61 kW betrieben. Sie erzeugen ca. 570 MWh elektrischen Strom. Ein zusätzliches Potenzial besteht bei der Errichtung von Energiezentralen wie sie am Kranlöchl und an der Kläranlage geplant sind. Je nach Größe der jeweiligen Wärmenetze könnte an jedem Standort z.B. ein BHKW mit einer elektrischen Leistung von 500 kW installiert werden.

Die thermische Leistung entspricht ungefähr denselben Dimensionen. Mit nahezu ganzjährigen Laufzeiten von 8.000 Stunden könnte **Strom und Wärme von jeweils 4.000 MWh** erzeugt werden. Für den Betrieb einer KWK-Anlage wird in der Regel fossiles Erdgas verwendet, möglich wäre auch der Bezug von aufbereitetem Biogas wie z.B. aus der Speisereste-Vergärungsanlage in Altenstadt.

Langfristig gesehen könnte - je nach technischer Entwicklung - der Ersatz von Erdgas durch Synthesegas erfolgen. Die Herstellung von Synthesegasen erfolgt mittels Power-to-Gas Technologien durch Elektrolyse und unter Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien. Das so erzeugte Gas kann im bestehenden Erdgasnetz gespeichert oder weitergeleitet werden. Ebenfalls perspektivisch kann die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff in KWK-Anlagen in den neuen Energiezentralen mit eingeplant werden.

**FAZIT: Die nachhaltige Erzeugung synthetischer Gase setzt voraus, dass überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht. Vorrangig kann dies in Weilheim mit PV-Strom erfolgen, sofern der Zubau an Dach- und Freiflächenanlagen weiterhin vorangetrieben wird. In den Energiezentralen der Stadtwerke sollte zukünftig Wasserstoff aus überschüssigem Strom erzeugt, gespeichert und bei Bedarf genutzt werden**

### **3.3 E-Mobilität**

Elektrofahrzeuge sind eine Möglichkeit erneuerbare Energien im Straßenverkehr effizient zu nutzen. So kann die Batterie dieser Fahrzeuge mit erneuerbarem Strom aus PV, Wasserkraft, Biomasse oder Windkraft aufgeladen werden.

Sinkende Preise, Fahrspaß sowie die Möglichkeit feinstaub- und stickoxidneutral mobil zu sein, sind darüber hinaus Gründe, warum E-Autos immer häufiger den Vorzug zu klassischen Verbrennungsmotoren erhalten. Mit den Reichweiten der neuen E-Auto-Generation von mehr als 300 km hat sich darüber hinaus die Alltagstauglichkeit im Vergleich zu vor wenigen Jahren deutlich verbessert. Insbesondere bietet sich der Einsatz von Elektromobilität für betriebliche Fuhrparks mit vielen kurzen Fahrten und langen Standzeiten an, wie es z.B. häufig in Handwerksbetrieben der Fall ist. Eine Übergangsalternative stellen die sogenannten Plug-In-Hybride dar. Diese verfügen neben dem Elektroantrieb – dessen Batterie üblicherweise eine Reichweite zwischen 20 und 80 Kilometer aufweist – auch über einen Verbrennungsmotor. So können alltägliche Fahrten mit geringeren Emissionen mit dem Elektroantrieb zurückgelegt werden. Bei längeren Fahrten – etwa in den Urlaub – springt dann der Verbrennungsmotor an.

Grundvoraussetzung dafür, dass Elektromobilität einen Beitrag zum Klimaschutz leistet, ist eine regenerative Erzeugung des „getankten“ Stroms. Ansonsten stellt sich die Klimabilanz von E-Autos schlechter als bei üblichen Verbrennungsmotoren dar. Im Idealfall werden erneuerbare Energieerzeugung vor Ort und E-Mobilität gemeinsam gedacht. Insgesamt ist

der Anteil an erneuerbaren Energien am deutschen Bruttostromverbrauch mit 31,7 % jedoch noch zu gering, damit das Tanken aus der Steckdose einen tatsächlichen Klimaschutzbeitrag gegenüber üblichen Verbrennungsmotoren leisten kann. Sofern der für ein E-Auto benötigte Strom also nicht selbst erzeugt werden kann, sollte zumindest umweltfreundlicher Ökostrom aus erneuerbaren Energiequellen bezogen werden.



Abbildung 3-20: Die Verknüpfung von Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wie Sonne und E-Mobilität kann zukünftig einen Beitrag leisten, um die verkehrsbedingten Emissionen in der Region zu senken.

Um die Ziele im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung zu erreichen, sollen die Treibhausgase im Verkehrs Sektor bis 2030 um gut 40 % reduziert werden. Die Elektrifizierung des Straßenverkehrs ist dafür unerlässlich. Die Weichen hierfür wurden im „Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung“ (Bundesregierung, 2019) gestellt und nun im „Masterplan Ladeinfrastruktur II“ (Bundesregierung, 2022) weiterentwickelt.

Die Studie „Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geht von einem Anstieg auf 3,1 Mio. vollelektrischen Fahrzeugen (BEV) bis 2025 und knapp 10 Mio. bis 2030 aus. Im Bereich der Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEV) werden 2,4 Mio. 2025 und 5,2 Mio. 2030 prognostiziert. Die Prognosen sind dabei mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet und es wird unterstrichen, dass der Bestand im Vergleich zu den Annahmen auch deutlich stärker ansteigen kann.

Da die Kaufentscheidung der Verbraucher stark an das Vorhandensein geeigneter Ladepunkte gekoppelt ist, ist die Grundvoraussetzung für den Hochlauf von Elektromobilität ein schneller und kontinuierlicher Ausbau der Ladeinfrastruktur. Je nach Szenario liegt der Bedarf an öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur im Jahr 2030 zwischen 410.000 und 843.000 Ladepunkten deutschlandweit (Abbildung 3-21). Im Referenzszenario (Abbildung 3-21, dunkelblau) werden etwa 54 % der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur im Straßenraum und, weitere 37 % an Kundenparkplätzen von Einkaufszentren und Parkhäusern

zur Verfügung gestellt. Diese Nutzungsbereiche, sog. Lade-Use-Cases, werden den größten Teil der Ladevorgänge im öffentlichen Raum ausmachen. Generell sollte eine hohe Auslastung durch strategisch günstige Orte und digitale Angebote wie intelligente Reservierungsfunktionen, ebenso wie eine hohe Leistung der Ladepunkte angestrebt werden, um den Bedarf an öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur zu verringern (siehe Szenario hellblau und orange). Auch der Ausbau privater Ladepunkte sollte angestrebt werden. Geht dieser nur schleppend voran (gelber Pfad) so müssen mehr als doppelt so viele Ladepunkte geschaffen werden und der Bedarf an öffentlichen Ladepunkten erhöht sich um knapp 20% (Windt & Arnhold, 2020). Im überarbeiteten Bayerischen Klimaschutzprogramm wurde ein Ausbau auf 70.000 Ladesäulen in Bayern bis 2030 beschlossen, insbesondere sollen die Behörden beim Ausbau von prominent sichtbaren Ladesäulen forciert werden.

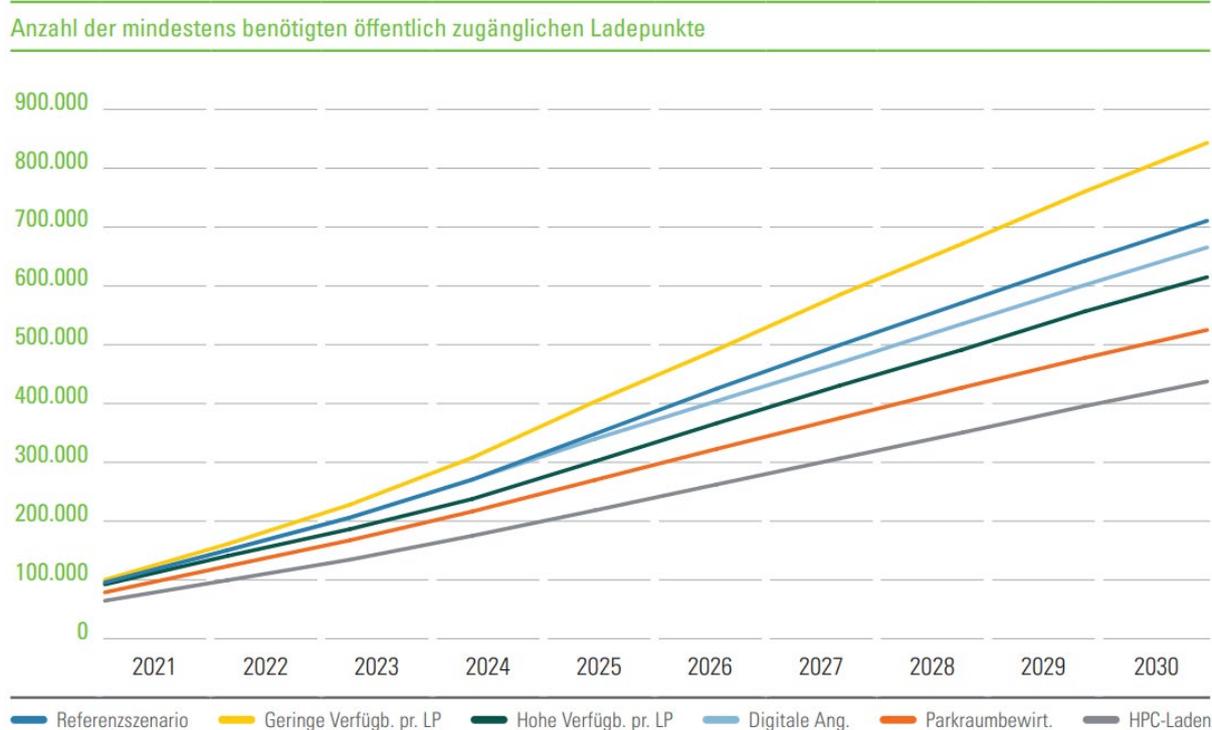


Abbildung 3-21: Bedarf an öffentliche zugänglicher Ladeinfrastruktur in Deutschland nach Szenarien (Windt & Arnhold, 2020)

Im Januar 2022 waren in Weilheim 14.013 PKWs zugelassen, 373 davon mit elektrischem Antrieb. Bei einer durchschnittlichen Fahrleistung von 15.000 km pro Jahr und einem Verbrauch von 0,2 kWh/km ergibt sich so ein Stromverbrauch von jährlich 1.119 MWh. Geht man davon aus, dass der Anteil an Elektrofahrzeugen in Weilheim bezogen auf die bundesweit zugelassenen Elektrofahrzeuge konstant bleibt, so wären **2030** bei bundesweit 15 Mio. E-Fahrzeugen in Weilheim etwa **4.700 Elektrofahrzeuge** zugelassen. Der Stromverbrauch allein für private E-Fahrzeuge beläuft sich dann auf **14.171 MWh** pro Jahr.

Vorschläge zum Ausbau der Ladeinfrastruktur in Weilheim werden in Kapitel 5.1 erläutert.

## 4 Konzeptentwicklung

Die Ergebnisse aus der Bestands- und Potenzialanalyse bilden die Grundlage für die folgende Konzeptentwicklung. Zudem fließen vor-Ort-Informationen von der Stadtverwaltung, den Stadtwerken, dem Handwerk sowie der Bürgerschaft in die Konzeptentwicklung mit ein.

### 4.1 Handlungsbedarf und Handlungsoptionen

Für die Stadt Weilheim wurde der Handlungsbedarf und die wesentlichen Handlungsoptionen zunächst unter Berücksichtigung der aktuellen Nachfragesituation und den vorhandenen Energiepotenzialen identifiziert.

#### 4.1.1 Strom

Aktuell werden in der Jahresbilanz 16 % des Gesamtnetzabsatzes durch erneuerbare Energieanlagen vor-Ort erzeugt. Der verbleibende Anteil von 84 % wird durch Netzbezug und fossil erzeugten Strom durch BHKWs gedeckt (Abbildung 4-1).

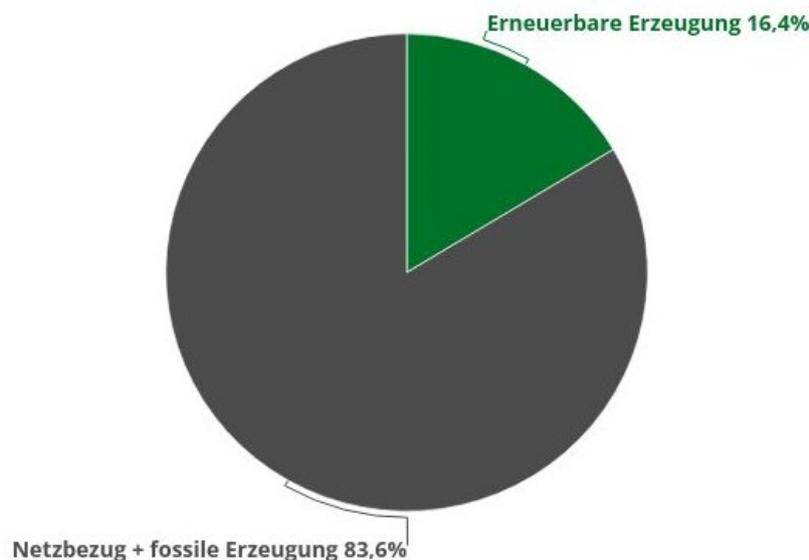


Abbildung 4-1: Anteil des in Weilheim erneuerbar erzeugten Stroms am Gesamtstrombezug und der fossilen Stromerzeugung 2019.

Das im vorausgehenden Kapitel erhobene weitere Potenzial für erneuerbare Energien im Sektor Strom liegt in Weilheim bei insgesamt über **80.000 MWh**. Zusammengefasst ergeben sich für die verschiedenen Energieträger prinzipiell folgende Handlungsoptionen:

**PV-Dach:** Das größte Potenzial besteht für den weiteren Ausbau von PV-Anlagen auf Dachflächen. Bei der vorliegenden Potenzialausweisung wird berücksichtigt, dass auch Solarthermie zur Brauchwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung auf den für So-

larenergie geeigneten Dachflächen genutzt wird und sich somit die potenziell nutzbare Fläche für Photovoltaik reduziert. Unter Annahme einer vollständigen Erschließung von 80 % aller für PV geeigneten Dachflächen kann der erneuerbare Anteil beim Strom um **54.150 MWh/a** erhöht werden. Eine bedarfsorientierte Anlagendimensionierung, wie es i.d.R. wirtschaftlich geboten ist und komplizierte rechtliche Rahmenbedingungen bei Mehrfamilienhäusern stehen der vollen Ausschöpfung dieses Potenzials allerdings entgegen.

**PV-Freifläche:** Es gibt einige Flächen die sowohl nach §48 Abs. 1 Nr. 3 c (EEG, 2023) als auch als sog. landwirtschaftlich benachteiligtes Gebiet als PV-Freiflächen in Frage kommen würden. Theoretisch würden die Flächen um Weilheim herum ausreichen, um den gesamten Strombedarf zu decken. Flächenkonkurrenz durch hohen Siedlungsdruck und hohe Pachtpreise für die Landwirtschaft reduzieren allerdings das Potenzial für PV-Freiflächen. Würden alle anderen verfügbaren Erneuerbaren Energiequellen ausgeschöpft werden, so wären für die Deckung des prognostizierten Strombedarfs 2035 (inkl. der prognostizierten Zunahme der E-Mobilität) noch rund **12.000 MWh/a** nötig. Dafür müssten 16 ha erschlossen werden.

**Biogas:** Theoretisch besteht bei einer vollständigen Nutzung der in Weilheim anfallenden Gülle- und Festmistmengen ein Erzeugungspotenzial für ca. **2.700 MWh<sub>e</sub>/a**. In der Praxis ist es schwierig, dieses Potenzial umzusetzen.

**Wind:** Nach bisherigen technologischen und rechtlichen Rahmenbedingungen existiert kein sehr gut geeigneter Standort für Windenergie in Weilheim. Die sich derzeit ändernden gesetzlichen Bedingungen mit der Neuaufstellung des Regionalplans könnten sich die Voraussetzungen jedoch ändern. Etwa **7.000 MWh/a** könnte ein Windrad im Westen des Stadtgebiets erzeugen.

**Wasser:** Im Zuge des Umbaus des Oderdinger Wehrs zur Rauen Rampe könnte am gleichen Standort ein Schachtwasserkraftwerk oder eine langsam drehende VLH-Turbine realisiert werden. Unter den gegebenen Bedingungen könnten **1.030 MWh/a** erzeugt werden.

**BHKW:** Zusätzliches Potenzial durch Kraft-Wärme-Kopplung ergibt sich hauptsächlich durch die eingesetzten BHKWs in den Energiezentralen des geplanten Fernwärmenetzes. Diese könnten Strom in der Größenordnung **4.000 MWh/a** erzeugen.

Mit Bezug auf den aktuellen Stromverbrauch in Weilheim verdeutlicht Abbildung 4-2, dass mit den vorhandenen Potenzialen eine vollständige Deckung des derzeitigen Netzabsatzes durch erneuerbare Energien erreicht werden kann. Da sich die Erschließung aller möglichen Potenziale als schwierig erweisen kann und mit einer Zunahme der Stromnachfrage zu rechnen ist, sind die Steigerung der Energieeffizienz und das Einsparen an Strom trotz-

dem unbedingt anzustreben. Das Szenario E-Mobilität geht davon aus, dass sich die Entwicklung der E-Mobilität in Weilheim entsprechend des bundesdeutschen Ausbauziels verhält (vgl. Kapitel 3.3 und 5.7).

Einer der Schwerpunkte bei der Maßnahmenentwicklung zum Energienutzungsplan Weilheim liegt folglich auf der Steigerung der Energieeffizienz und der Errichtung von PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften.

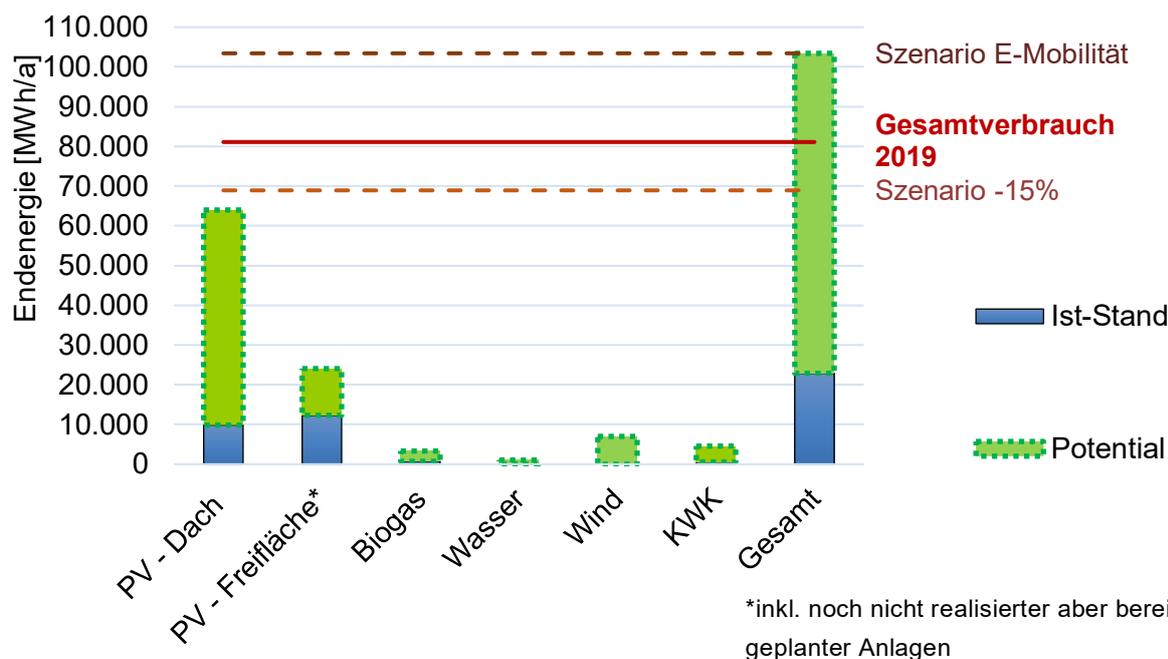


Abbildung 4-2: Ist-Stand (2019) und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung in Weilheim im Vergleich zum Gesamtverbrauch 2019 und Szenarien dazu.

#### 4.1.2 Wärme

Zur Deckung des Wärmebedarfs werden überwiegend fossile Energieträger eingesetzt. Rund 94 % werden durch Heizöl, Erdgas oder durch lokale fossile Erzeugung durch BHKWs gedeckt. Die restlichen 6 % können durch erneuerbare Energieträger gedeckt werden (Abbildung 4-3).

In Weilheim wird mehr als drei Mal so viel Endenergie in Form von Wärme benötigt als für Strom. Fortschritte im Wärmesektor spielen daher eine Schlüsselrolle für den Erfolg der lokalen Energiewende. Der Blick auf die zusammenfassenden erneuerbaren Energiepotenziale zeigt (Abbildung 4-4), dass in Weilheim verschiedene Handlungsoptionen zum Ausbau des erneuerbaren Wärmeanteils existieren. Insgesamt ist ein zusätzliches Potenzial von mindestens **45.000 MWh** zur Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energieträger vorhanden. Deutlich wird aber auch hier, dass ein Mix aller Energieträger nötig ist, um Fortschritte in der Energiewende zu machen.

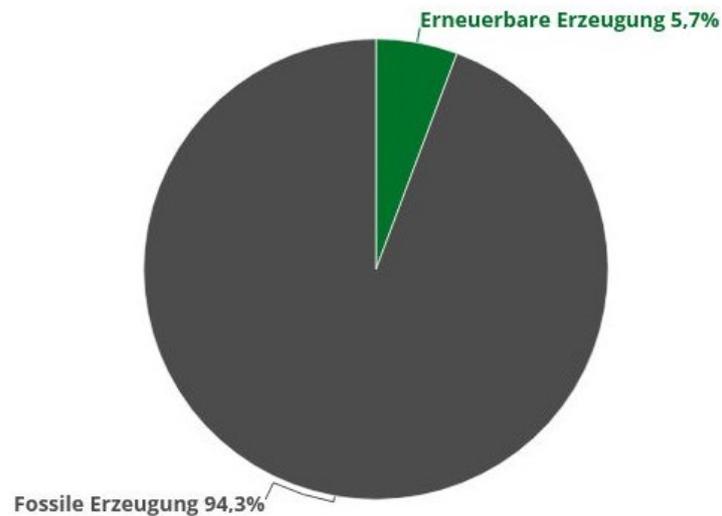


Abbildung 4-3: Erneuerbarer und fossiler Anteil der Wärmeversorgung im Jahr 2019 in Weilheim.

**Solarthermie:** Prinzipiell ein sehr großes Ausbaupotenzial besteht in Weilheim für Solarthermie. Es stehen mit der Dachlandschaft in Weilheim viele geeignete Dachflächen zu Verfügung, insgesamt kann derzeit aber kein entscheidender Trend beim Zubau von Solarthermieanlagen verzeichnet werden. Für eine Realisierung dieses Potenzials ist die unabhängige Initiative sehr vieler Akteure notwendig, auch wirtschaftlich darstellbar ist nur ein kleiner Teil des Potenzials. Die Gewichtung der Dachflächenverfügbarkeit für PV- bzw. Solarthermieanlagen wurde demnach zugunsten von PV-Anlagen vorgenommen.

Angenommen, 20 % der noch für Solarenergie geeigneten Dachflächen werden für Solarthermie-Anlagen genutzt, könnten zusätzlich **12.400 MWh** pro Jahr an Wärme bereitgestellt werden.

**Energieholz:** Nur ein begrenzter Teil des nutzbaren Energieholzes in den Wäldern von Weilheim wird derzeit genutzt. Allein in den Privatwald- und Stadtwaldflächen von Weilheim können durch den nachhaltigen Einsatz von Hackschnitzeln, Scheitholz und Pellets zusätzlich **6.100 MWh/a** Wärme gewonnen werden. Aufgrund des Waldreichtums der gesamten Region ergeben sich insgesamt nennenswerte Energieholzpotenziale für den Energieträger Holz. Mittlerweile besteht in der gesamten Region eine gute logistische Versorgung mit Hackschnitzeln unterschiedlicher Qualitäten, so dass relativ hochwertige Ware ganzjährig zur Verfügung steht. Die beste Möglichkeit zur Nutzung dieses Potenzials stellt in Weilheim das geplante Fernwärmenetz dar, um Bereiche mit hoher Nachfrage auf engem Raum effizient zu versorgen.

Mögliche weitere nutzbare Potenziale durch Kurzumtriebsplantagen sind hier nicht eingerechnet.

**Oberflächennahe Geothermie:** Für die Nutzung oberflächennaher Erdwärmesysteme ist es aufgrund der jeweiligen Standort- und Nutzungsbedingungen schwierig, ein quantitatives Potenzial auszuweisen. Es ist in jedem Fall eine Einzelfallprüfung notwendig. Vor allem Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen könnten in Weilheim im Neubaubereich bzw. zur Deckung von Heizwärmebedarf mit relativ niedrigem benötigtem Temperaturniveau (z.B. Fußbodenheizung) noch vorhandenes Potenzial bieten. Mittels Fortschreibung der Anzahl installierter Anlagen in den letzten 10 Jahren gemäß des bundesweiten Ausbautrends kann mit zusätzlich mindestens **23.130 MWh/a** Wärmebereitstellung durch oberflächennahe Geothermie gerechnet werden. Eine Quantifizierung des vorhandenen Potenzials ist schwierig. Je nach technologischen Neuerungen und Sanierungsquoten kann die Nutzung des Potenzials in Zukunft auch höher ausfallen.

**Abwärme:** Bei der Kläranlage fällt nutzbare Abwärme an. Rund **800 MWh** könnten in das geplante Fernwärmenetz eingespeist werden.

**BHKW:** Zusätzliches Potenzial durch Kraft-Wärme-Kopplung ergibt sich hauptsächlich durch die eingesetzten BHKWs in den Energiezentralen des geplanten Fernwärmenetzes. Diese könnten Wärme in der Größenordnung **4.000 MWh/a** erzeugen.

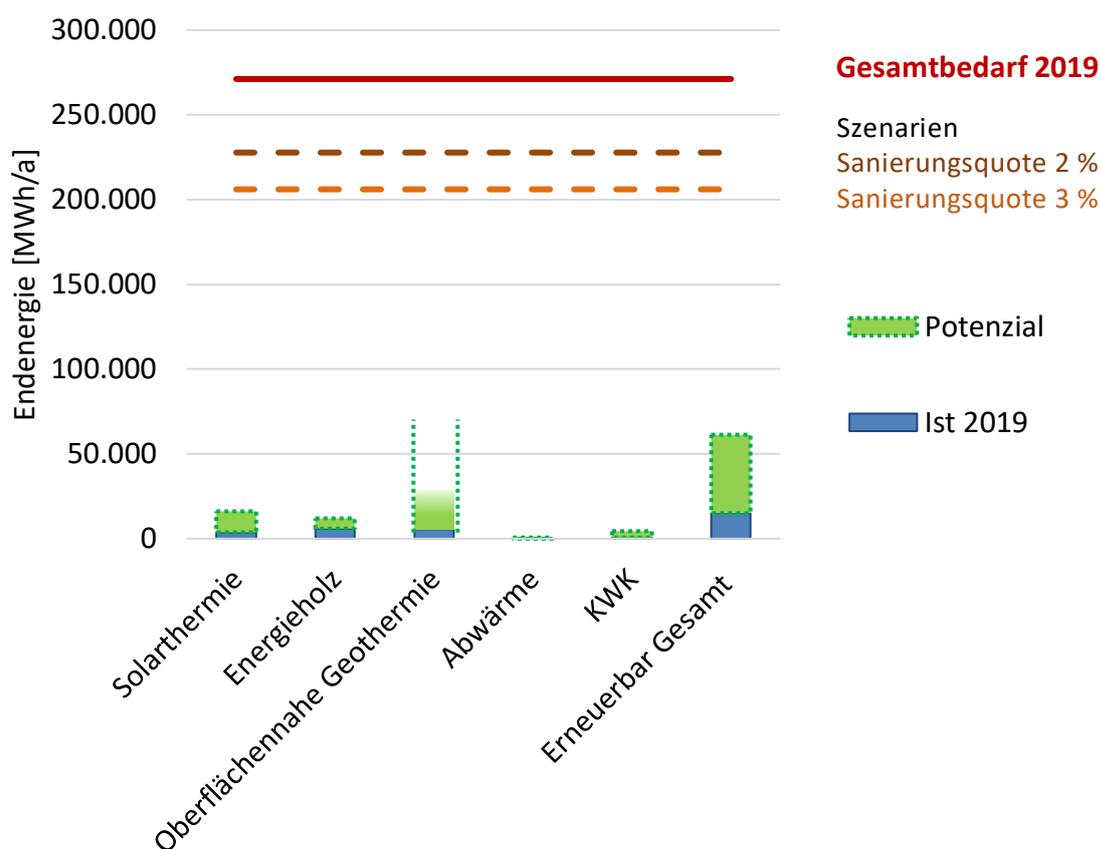


Abbildung 4-4: Ist-Stand (2019) und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung in Weilheim.

Eine Steigerung der regenerativen Wärmeerzeugung ist möglich, eine bilanzielle Deckung des Wärmebedarfs allein durch erneuerbare Energien aus dem Stadtgebiet von Weilheim ist jedoch auch durch eine erhebliche Reduktion des Wärmebedarfs nicht vollständig realisierbar (Abbildung 4-4). Maßnahmen zur Reduktion des Wärmebedarfs gewinnen damit an zentraler Bedeutung.

### 4.1.3 Ausbauszenario Erneuerbare Energien

Anhand der dargestellten Energiepotenziale wurden die möglichen Szenarien für die Wärme und Stromversorgung in Weilheim erarbeitet. Diese Zukunftsszenarien haben nicht den Anspruch, eine Prognose abzugeben, sondern sie stellen, unter Berücksichtigung der auf dem Stadtgebiet von Weilheim verfügbaren Potenziale, mögliche Entwicklungen dar.

#### 4.1.3.1 Strom

Die derzeitige Situation des Stromverbrauchs sowie die Einsparpotenziale sind in Kapitel 2.1 und 3.1.3 beschrieben. Unter Anbetracht der steigenden Einwohnerzahlen, einer zunehmenden Digitalisierung und dem eindeutigen Trend zur E-Mobilität ist mit keinem Rückgang des Netzbezugs zu rechnen. Deshalb wurde für das in Abbildung 4-5 skizzierten Szenario ein zu heute konstant bleibender Strombedarf zuzüglich des prognostizierten Strombedarfs für E-Mobilität gem. der Ausbauziele der Bundesregierung dargestellt.

Insgesamt stünden auf Weilheimer Flur genug Potenziale zur Verfügung, um den erhöhten Strombedarf durch vor-Ort erzeugten Strom zu decken, wobei 95 % aus erneuerbaren Energiequellen, hauptsächlich durch Photovoltaik, erzeugt werden könnten. Die restlichen 5 % könnten aus den BHKWs der Energiezentralen des Fernwärmenetzes stammen.

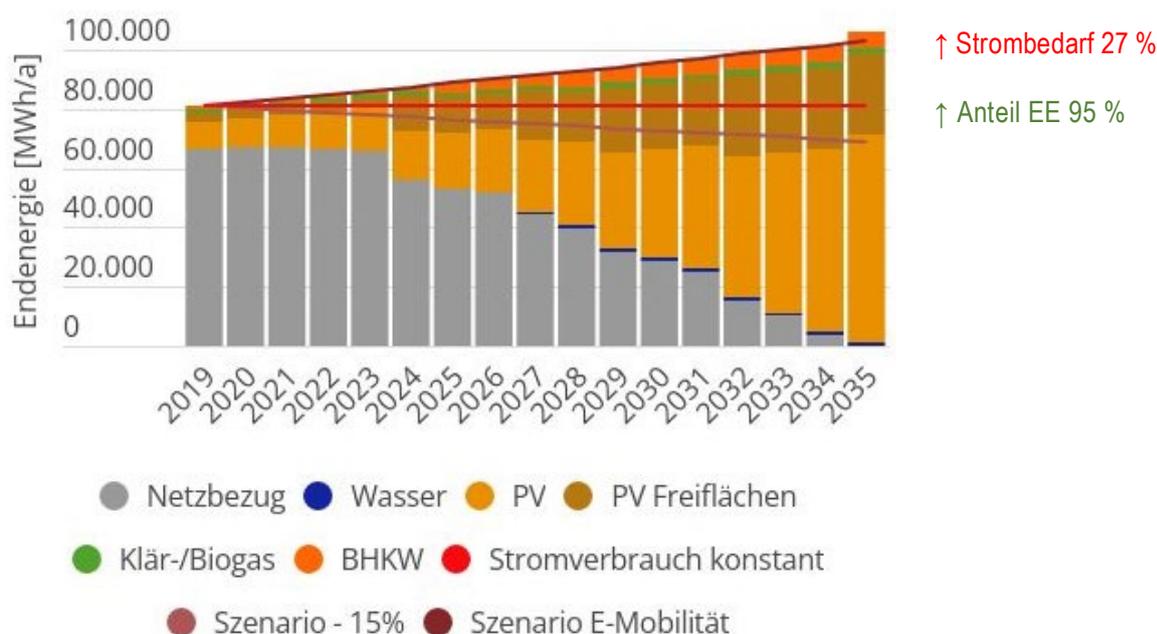


Abbildung 4-5: Ausbaupfad bis 2035 für eine zukünftige Stromversorgung in Weilheim.

Ziel soll es sein, die vorhandenen Potenziale der erneuerbaren Energieträger zu nutzen und weiter auszubauen. Gemäß dem Szenario und den vorhandenen Potenzialen wird der Schlüssel der erfolgreichen Energiewende im Stromsektor im Ausbau der Photovoltaik liegen. In Anbetracht der schnellen Amortisierungsdauer der PV-Module wäre eine Ausschöpfung des Potenzials sowohl für PV-Aufdach- als auch -Freiflächen-Anlagen in Weilheim bis 2035 umsetzbar.

#### 4.1.3.2 Wärme

Beim Wärmebedarf wird von einer stückweisen Reduzierung ausgegangen, welcher durch energetische Sanierung und eine hohe Wärmeeffizienz im Neubau erreicht wird. Der Gesamtwärmeverbrauch könnte somit im Jahr 2035 in Weilheim bei 205.000 MWh liegen. Dies entspricht einer Einsparung um 24 %. Gemäß dem Szenario könnte damit der Anteil der regenerativen Energieträger zur Wärmebereitstellung von heute 5,7 % auf 27,9 % ansteigen. Abbildung 4-6 zeigt einen möglichen Entwicklungspfad der zukünftigen Wärmeversorgung in Weilheim, bei dem die nach derzeitiger Umsetzbarkeit möglichen Potenziale realisiert werden. Zum Vergleich wird ebenso der von heute gleichbleibender Wärmebedarf dargestellt.

Das Szenario verdeutlicht, dass ein Mix aller zur Verfügung stehenden Energieträger notwendig ist, um Fortschritte in der Wärmewende machen zu können. Einen nicht zu vernachlässigen Beitrag kann auch die Kraft-Wärme-Kopplung spielen, wie sie u.a. bei Fernwärmenetzen zum Einsatz kommt. Das Szenario zeigt auch, dass unter den getroffenen Annahmen eine vollständige Substitution des Energieträgers Heizöl durch Reduzierung des Wärmebedarfs und des Ausbaus erneuerbarer Energien bis 2035 erreicht werden kann.

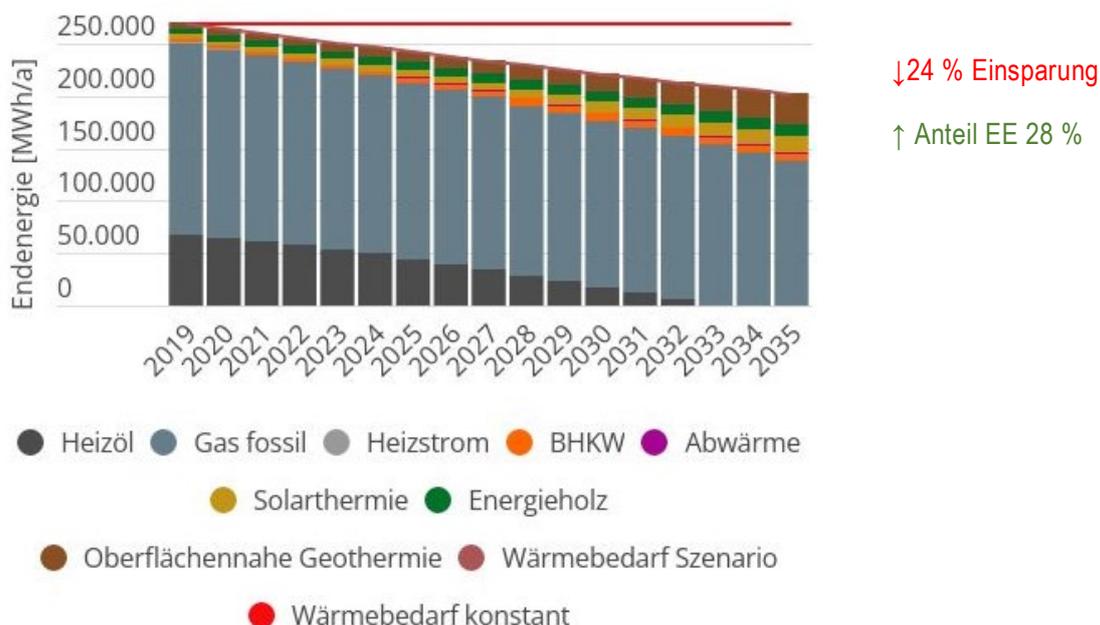


Abbildung 4-6: Ausbaupfad für eine zukünftige Wärmeversorgung in Weilheim.

#### 4.1.3.3 Chancen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

Die für den Klimaschutz entscheidende Frage ist, wie es gelingen kann, die klimaschädlichen Treibhausgasemissionen signifikant zu reduzieren. Die in den vorausgehenden Kapiteln beschriebenen Szenarien bergen ein CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial von 57 % (Abbildung 4-7). Unter der Annahme, dass der Strombedarf steigt, eine Reduzierung des Wärmebedarfs um 24 % realisiert wird und die Erneuerbaren Energien in beiden Sektoren entsprechend ausgebaut werden, würden sich die derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf rund 40.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr sinken (CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren sh. Tabelle 2-1). Auch welcher Anteil der Treibhausgasemissionen welchem Energieträger zuzuordnen ist, wird aus Abbildung 4-7 ersichtlich.

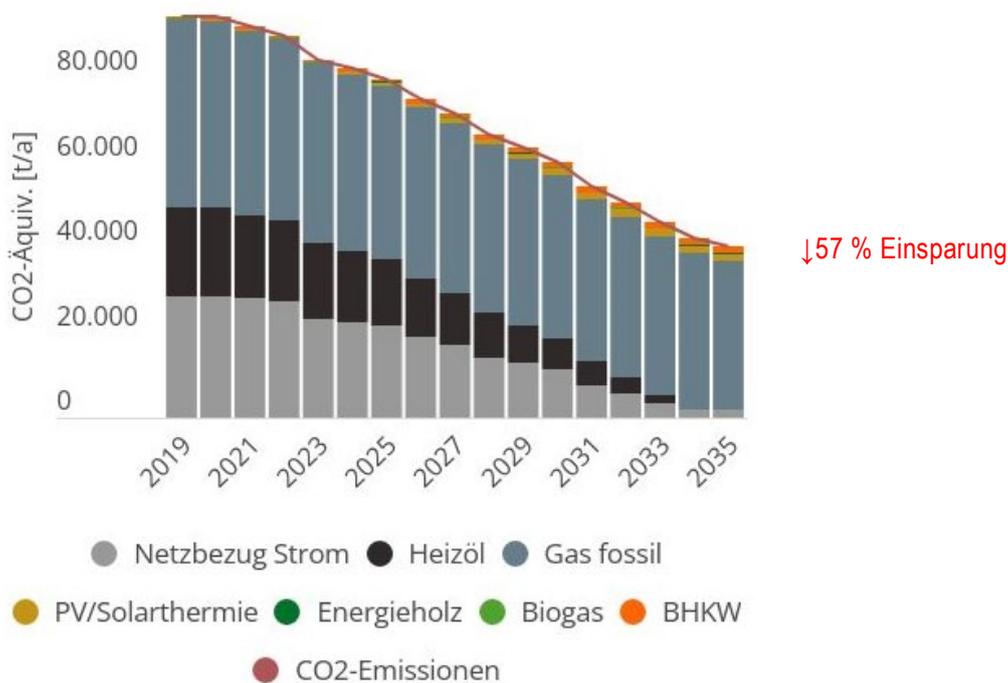


Abbildung 4-7: Möglicher Beitrag zum Klimaschutz im Wärme- und Stromsektor bei Realisierung der oben dargestellten Szenarien in Weilheim.

Im Sinne des Klimaschutzes am wirksamsten ist eine rasche Substitution der fossilen Energieträger durch erneuerbare Brennstoffe. Die industrielle Erzeugung von flüssigen oder gasförmigen Energieträgern kann langfristig zum Klimaschutz beitragen. Sog. Power-to-Gas Anlagen erzeugen beispielsweise aus überschüssigen Strommengen im Netz Wasserstoff, der sehr gut lager- und transportfähig ist. Auch der Energieträger Flüssiggas kann aus Reststoffen wie z.B. Glycerin, Stärke oder Zellulose hergestellt werden. Grundsätzlich stoßen Erd- und Flüssiggas weniger CO<sub>2</sub> aus als Heizöl, sodass deren Einsatz als Zwischenschritt zur Energiewende gesehen werden kann. Sofern diese Produkte zukünftig regenerativ erzeugt werden, ist dies ein weiterer Beitrag zum Klimaschutz.

## 4.2 Wirtschaftliche Bewertung EE-Ausbau

Unter den derzeitigen Strom- und Wärmeverbräuchen entstehen in Weilheim jährliche Gesamtenergiekosten in Höhe von knapp einer halben Mio. €. Werden die Kosten für die erzeugte Wärme im Mix der derzeitigen Wärmeerzeuger mit 90 Euro/MWh angesetzt und ein durchschnittlicher Strompreis über alle Nutzergruppen von 300 €/MWh angenommen, so teilen sich die Kosten ungefähr zur Hälfte auf den Bezug von Strom und Wärme auf (Abbildung 4-8). Ein weiterer Ausbau der regenerativen Energien bedeutet langfristig eine Reduktion diese Kosten und eine Steigerung der regionalen Wertschöpfung.

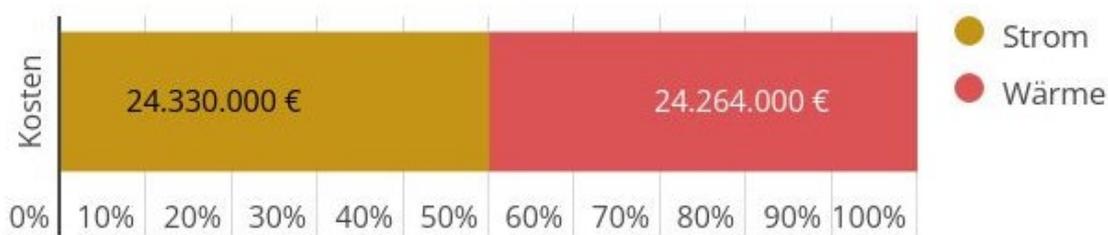


Abbildung 4-8: Summe der Gesamtkosten 2018/2019 für den Bezug von Wärme und Strom in Weilheim.

Der Ausbau der in den vorausgehenden Kapiteln beschriebenen Potenziale gemäß den skizzierten Szenarien ist einerseits mit hohen Investitionen verbunden. Für den Stromsektor würde dies beispielsweise Investitionen in Höhe von 85,6 Mio. € und für den Wärmesektor mindestens 24,2 Mio. € bedeuten. Der Hauptanteil davon würde auf den Ausbau der Solarenergie entfallen.

Allerdings sind Städte und Gemeinden als wichtige Treiber beim Ausbau erneuerbarer Energien (EE) gleichzeitig in relevantem Umfang Profiteure dessen. Denn es werden durch den Ausbau der EE heimische Energiequellen, Technologien und Dienstleistungen eingesetzt und bisher importierte Energierohstoffe oder Endenergien ersetzt. Eine Reihe von Wertschöpfungsschritten finden zudem in den Kommunen selbst statt, die dort positive regionalwirtschaftliche Ausstrahlungseffekte mit sich bringen (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, 2010).

Einer Gegenüberstellung der Umsätze für die regionale regenerative Energieerzeugung heute und den zuvor dargestellten Entwicklungspfad bis 2035 ist in Abbildung 4-9 dargestellt. Ein hohes Potenzial zur Steigerung der regionalen Wertschöpfung ist demnach vorhanden. Insgesamt lässt sich der lokale EE-Umsatz durch den skizzierten Ausbau erneuerbarer Energien mehr als versechsfachen. Vor allem im Stromsektor ist durch den Ausbau der Photovoltaik Dach- und Freiflächenanlagen eine große Steigerung der Einnahmen zu generieren.

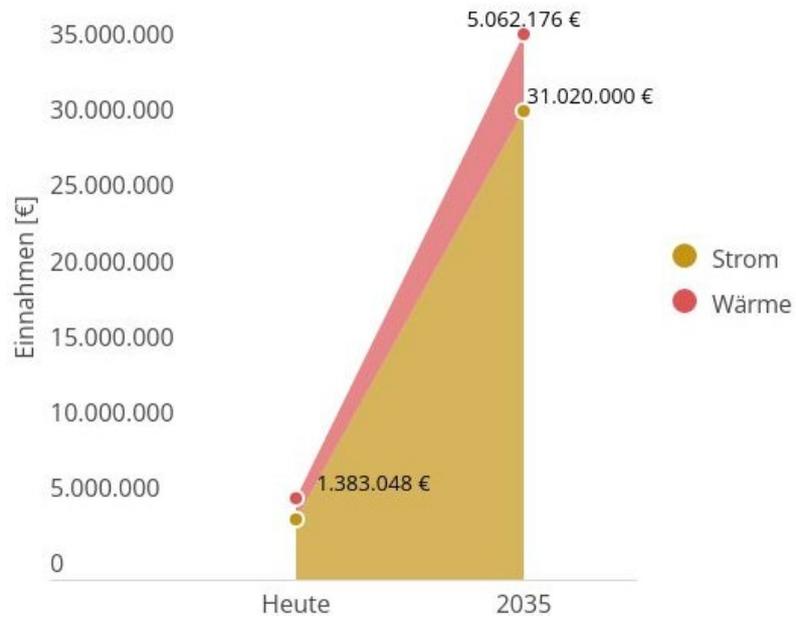


Abbildung 4-9: Regionale Wertschöpfung 2019 und 2035 durch erneuerbare Energien entsprechend der Szenarien.

## 5 Maßnahmenempfehlungen für Weilheim

Aus der im Rahmen des Energienutzungsplans durchgeführten Ist-Analyse sowie den Potenzialen zur Energieversorgung in Weilheim ergeben sich Maßnahmen, durch deren schrittweise Umsetzung sich die Stadt dem Ziel der Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern nähern kann. Neben der erneuerbaren Energieerzeugung sind außerdem Energieeffizienz und Energieeinsparung von entscheidender Bedeutung, um den regenerativen Anteil bei Strom und Wärme auszubauen. Im Folgenden sind Maßnahmen beschrieben und unter wirtschaftlichen Aspekten bewertet, deren Umsetzung innerhalb der Stadt durch das Kompetenzzentrum Energie EKO e.V. empfohlen wird.

Die Wirtschaftlichkeitsbewertungen erfolgen dabei in Anlehnung an die VDI 2067 (Verein Deutscher Ingenieure, 2017). So sind die jährlich zu erwartenden Einsparungen bzw. Erträge den laufenden jährlichen Ausgaben gegenübergestellt. Eine Investition ist immer dann vorteilhaft, wenn sich ein positiver Überschuss aus den jährlichen Einnahmen und Ausgaben ergibt. Es wurde den Berechnungen ein Kalkulationszinssatz von 3 % zu Grunde gelegt. Für die Finanzierung der Maßnahmen wird jeweils ein Kredit aufgenommen, welcher in Form eines Annuitätendarlehens jährlich getilgt wird. Aus Vereinfachungsgründen und weil Preisprognosen mit hohen Unsicherheiten verbunden sind, wurden weder Preis- noch Zinsentwicklungen berücksichtigt.

Die Wirtschaftlichkeitsanalysen für PV-Anlagen sind im Folgenden stets so ausgelegt, dass ein möglichst hoher Eigenstromverbrauch erzielt wird. Die genaue Ertragsrechnung, sowie die Berechnung von Wirtschaftlichkeit, Eigenverbrauch und Kosten im Rahmen des Energienutzungsplanes wurde mit der Software *PV\*Sol premium* ermittelt (Details dazu im Anhang 3).

Zwar ist die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme meist das zentrale Entscheidungskriterium für die Realisierung dieser, Themen wie Komfortverbesserung und Umweltschutz sollten dennoch nicht außer Acht gelassen werden. Bei der Vorgehensweise zur Maßnahmenumsetzung ist es besonders wichtig, dass neben der Planung und Umsetzung auch eine Evaluierung und Ableitung neuer Maßnahmen erfolgt, wie in folgendem Ablaufschema in Abbildung 5-1 dargestellt.

Insgesamt sind im Folgenden 20 Maßnahmenvorschläge ausgearbeitet. Davon betreffen 16 Maßnahmen unmittelbar den Handlungsspielraum der Stadt Weilheim oder der Stadtwerke Weilheim. Als Maßnahmen für Bürgerinnen und Bürger werden vier Vorschläge aufgeführt. In Kapitel 5.11 werden alle Maßnahmen in einer Übersichtstabelle zusammengefasst.

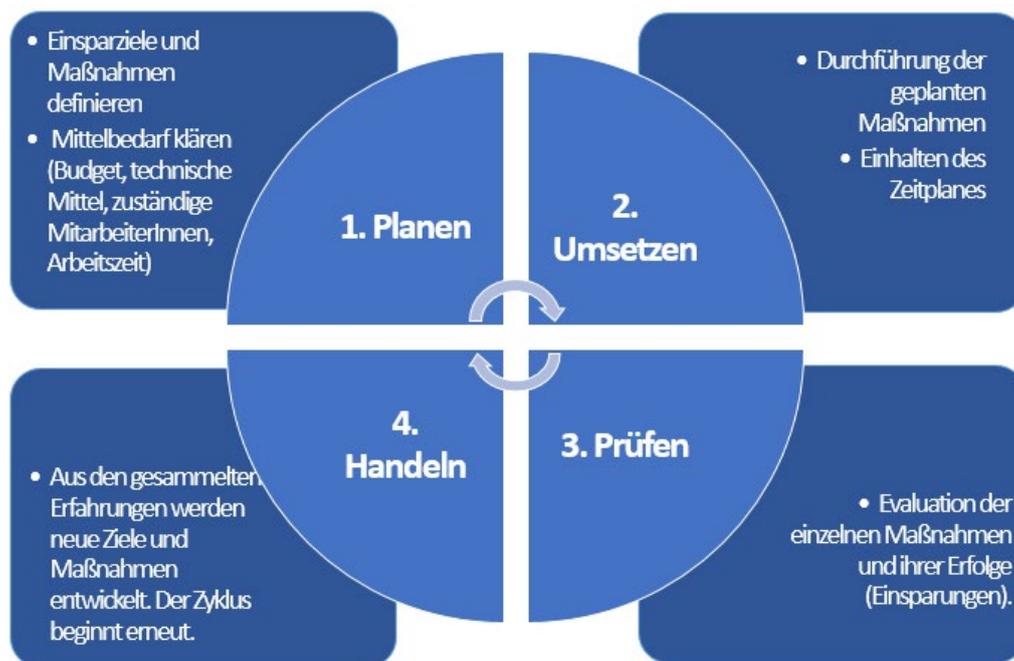


Abbildung 5-1: Ablaufschema bei der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen.

## 5.1 Maßnahmenkatalog

### 5.1.1 Maßnahmen für die Stadt Weilheim

Neben den eigenen Liegenschaften gibt es einige Bereiche, in denen die Stadt aktiv werden kann, um die Energiewende vor Ort weiter voranzubringen. Mit der Realisierung der im Folgenden dargestellten Handlungsempfehlungen kann die Stadt ihrer Vorbildfunktion in Sachen Klimaschutz und Ressourceneffizienz gerecht werden. Wo möglich, wurden die mit der Maßnahme verbundenen Investitionskosten berechnet sowie ggf. auf derzeitige Fördermöglichkeiten hingewiesen.

#### 5.1.1.1 Stadtmuseum

Die Biomasse-Heizung der Kirche Mariae Himmelfahrt verfügt über eine Spitzenleistung von 100 kW. Zweck dieser Anlage ist nicht eine vollständige Beheizung des Kirchenraums, sondern lediglich eine Temperierung des historischen Mauerwerks sowie die Vermeidung von Kondensatausfall bei zu hoher Luftfeuchtigkeit. Sie wird ganzjährig betrieben und verfügt über eine hohe Leistungsreserve. Im Zuge der Sanierung des Stadtmuseums könnte

die bestehende Gasheizung komplett durch Wärmelieferung aus dieser Anlage ersetzt werden. Die Abrechnung kann in einem langfristig angelegten Wärmeliefervertrag erfolgen.



Abbildung 5-2: Mögliche Trasse zur Anbindung des Stadtmuseums an die Hackschnitzelheizung der Kirche.

#### **5.1.1.2 Austausch der Straßenbeleuchtung im Innenstadtbereich**

Der überwiegende Teil der Straßenbeleuchtung in Weilheim wurde in den vergangenen Jahren bereits durch effiziente LED-Beleuchtung ausgetauscht. Im Innenstadtbereich sind allerdings noch die alten Leuchten verbaut.

Ein Austausch alter Leuchten gegen neue LED-Köpfe spart zum einen mindestens 70 % Strom, zum anderen sinken erfahrungsgemäß auch die Wartungskosten um 20 %. Durch die Auswahl der geeigneten Lichtfarbe kann zusätzlich zum Artenschutz nachtaktiver Insekten beigetragen werden.

Da die Beleuchtung im Eigentum der Stadt ist, könnte sie eine Förderung für den Austausch beantragen. Über die Kommunalrichtlinie wird die Sanierung von Straßenbeleuchtung auf Verkehrs- und verkehrsberuhigten Flächen mit 25 % vom Umweltbundesamt gefördert.

Einige Kommunen sind mittlerweile dazu übergegangen, die Straßenbeleuchtung teilweise nachts abzustellen. Zur weiteren Stromeinsparung könnte das Abschalten der Beleuchtung in Wohngebieten in der Nacht auch in Weilheim diskutiert werden.

#### **5.1.1.3 Handlungsoptionen für CO<sub>2</sub>-neutrale Neubaugebiete**

Für jeden Neubau sollten die optimalen Voraussetzungen zur Erzeugung von Strom und Wärme vor Ort geschaffen werden. Beispielsweise ist der Ertrag einer Solarthermianlage

für die Brauchwasserbereitstellung bei ungünstiger Ausrichtung und Dachneigung im Vergleich zur optimalen Disposition um 10 bis 15 % geringer. Die Berücksichtigung von Klimaschutzbelangen ist deshalb auch eine Verantwortung der Bauleitplanung und wird z.B. im Baugesetzbuch (BauGB) sowie in der Baunutzungsverordnung (BauNVO) entsprechend hervorgehoben:

**§1 Abs. 6 BauGB:** „Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind insbesondere zu berücksichtigen: **Nr.7 (f)** die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die sparsame und effiziente Nutzung von Energie.“

Im **Flächennutzungsplan** können Flächen als Versorgungsflächen ausgewiesen werden und damit Standortentscheidungen für die Gewinnung von erneuerbaren Energien getroffen werden (**§5 Abs. 2 Nr. 2 BauGB**).

Im **Bebauungsplan** können Gebiete festgesetzt werden, in denen bei der Errichtung von Gebäuden erneuerbare Energie (insbesondere Solarenergie) eingesetzt werden muss (**§9 Abs. 1 Nr. 23b BauGB**).

**§11 Abs. 1 Nr. 4 BauGB** sieht ausdrücklich vor, dass Kommunen **städtebauliche Verträge** schließen können, welche die Nutzung von Netzen und Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung sowie von Solaranlagen für die Wärme-, Kälte- und Elektrizitätsversorgung zum Gegenstand haben.

Durch spezifische Festsetzungen im Bebauungsplan z.B. zum Gebäudestandort, zur Gebäudeausrichtung, -höhe und -form, können Festsetzungen in der Baunutzungsverordnung maßgeblich zu einer **energetisch günstigen Bauweise** in der Kommune beitragen.

Im Rahmen des Projekts INOLA wurde in Zusammenarbeit mit dem Klimaschutzmanagement des Landkreises Miesbach ein Baukatalog erstellt (Halmbacher et al., 2018). Der Leitfaden „Energieeffizienz und Klimaschutz in der Bauleitplanung“ enthält Entscheidungshilfen und Ratschläge für eine energiesparende Bauweise, sowie Informationen zur Erstellung energieeffizienter und klimaschützender Bebauungspläne.

#### **Praxishinweis:**

Oftmals diskutiert wird für Neubaugebiete die Errichtung einer Biomasse-Heizzentrale mit Anschlusszwang aller Neubauten. Da neue Gebäude nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) errichtet werden müssen, ist der Wärmebedarf relativ gering. Ein Wärmeverbund von Ein- und Zweifamilienhäusern führt daher nicht zu auskömmlichen Wärmepreisen, sodass der wirtschaftliche Betrieb solcher Anlagen nicht erreicht werden kann. Im Bereich von Mehrfamilienhäusern kann mit steigender CO<sub>2</sub> - Besteuerung von fossilen Energieträgern eine Biomasse-Heizzentrale sinnvoll werden. Mit Anschlusszwang oder Verboten von z.B. Öl- und Gasheizungen weckt man bei vielen Bauwilligen eine gewisse Abwehrhaltung. Geeigneter ist z.B. die Erschließung aller Baugrundstücke mit jeweils einer Wärmesonde:

Auf die Erschließungskosten könnte diese Sonde mit angerechnet werden, eine Verpflichtung zur Benutzung besteht natürlich nicht. Da die Sonde mit Grundstückserwerb bezahlt ist, werden sie in die Planungen zur Wärmeversorgung der Neubauten höchstwahrscheinlich mit einbezogen. Alternativ dazu gibt es u.a. die Verlegung von sog. "kalter Nahwärme", die anzuschließenden Wärmepumpen eine gemeinsame Wärmequelle von 8 – 12 °C zur Verfügung stellen kann. Hierbei werden nicht gedämmte PE - Rohre verlegt, die wesentlich günstiger sind als gedämmte Wärmeverbundrohre.

Ein weiterer Schritt zur CO<sub>2</sub>-freien Energieversorgung von Neubauten könnte die Bindung im städtebaulichen Vertrag mit der Stadt sein, dass auf den Grundstücken lediglich Effizienzhäuser 55 errichtet werden dürfen. Vorgeschrieben ist nach derzeitigem GEG der Energiestandard zum Effizienzhaus 70. Mit dieser Verbesserung können zum einen höhere Fördermittel für die Bauwilligen in Anspruch genommen werden, zum anderen lässt diese Anforderung kaum mehr eine Gasheizung zu. In den Oberland-Kommunen, die dies so durchgeführt haben, hat der Gasversorger keinerlei Interesse mehr, das Neubaugebiet mit Gasleitungen zu erschließen.

Eine Forderung nach Passivhäusern wäre aus Sicht der Energiewende wünschenswert. Ein wesentlicher Nachteil liegt in den ohnehin schon hohen Baukosten, die damit zusätzlich gesteigert würden, zum anderen sind in den meisten Passivhäusern kontrollierte Wohnraumlüftungen unumgänglich. Erfahrungsgemäß werden sie nicht regelmäßig gewartet oder führen zu hohen Stromverbräuchen.

Die vertraglichen Anforderungen können nur umgesetzt werden, wenn die Stadt Eigentümerin des Baugebiets ist und die Grundstücke veräußert. Sind Bauplätze im Privateigentum sind derartige Forderungen rechtlich nicht umsetzbar.

#### **5.1.1.4 Teilnahme am European Energy Award**

Im Rahmen des Energienutzungsplans werden Maßnahmen entwickelt, um die Energiewende in der Stadt Weilheim zu realisieren. Eine regenerative Energieversorgung trägt einen sehr großen Teil zum Klimaschutz bei, allerdings umfasst Klimaschutz auch weitere Bereiche innerhalb der Kommune, wie beispielsweise den Sektor Mobilität, Ver- und Entsorgung oder Öffentlichkeitsarbeit. Zudem ist eine konsequente und strukturierte Umsetzung von Maßnahmen für eine erfolgreiche Energiewende und Klimaschutz unerlässlich. Um dies zu erreichen, wird die Teilnahme am European Energy Award (eea) empfohlen.

Der Ablauf des eea folgt dem eines klassischen Managementzyklus. Im dreijahres-Rhythmus wird aufbauend auf eine Ist-Analyse ein Arbeitsprogramm mit umzusetzenden Projekten erstellt. Im Zentrum dessen steht einem Energieteam, bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern aus den verschiedenen Verwaltungsabteilungen, der Stadtwerke, ggf. der Wirtschaft und der Bürgerschaft. Während des gesamten Prozesses steht der Kommune

und dem Energieteam ein externer Berater zur Seite, der zudem regelmäßig die Erfolgskontrolle im Rahmen der Zertifizierung durchführt.



Abbildung 5-3: Ablauf des European Energy Awards.

Durch die Zusammensetzung des Energieteams und Integration aller Verwaltungsabteilungen werden zum einen die verschiedenen Kompetenzen einbezogen als auch das Bewusstsein und Zuständigkeiten für Klimaschutz in die verschiedenen Handlungsfelder der Stadt weitergetragen. Durch die Einbindung aller Bereiche wird eine Institutionalisierung des Klimaschutzes geschaffen, ohne die die Klimaschutzziele nur schwer zu erreichen sind. Auch werden durch die regelmäßigen Zertifizierungen die Aktivitäten und Fortschritte mess- und sichtbar.

Im Anschluss an die Fertigstellung des Energienutzungsplans mit dem eea zu beginnen wäre ein zeitlich sinnvoller und konsequenter Schritt für ein erfolgreiches Klimaschutzprogramm der Stadt Weilheim. Sowohl die Ist-Analyse des Energienutzungsplans sowie die hier entwickelten Maßnahmen könnten in den eea übernommen werden.

Die Teilnahme am eea wird vom Bayerischen Umweltministerium durch die Förderrichtlinie „Kommunaler Klimaschutz – KommKlimaFöR“ mit 70 % der förderfähigen Kosten gefördert.

#### **5.1.1.5 Jährliches Monitoring des EE-Zubaus – Kriterien für PV-Freiflächen**

Die aktuell erforderliche Strommenge von jährlich ca. 80.000 MWh wird zu einem Anteil von 16 % regenerativ gedeckt. Dem Ziel der Bürgerstiftung Energiewende Oberland bis zum Jahr 2035 sich selbst mit regenerativen Energien zu versorgen, hat sich die Stadt Weilheim mit dem Beitritt im Jahr 2012 angeschlossen. Bezüglich der Planung oder Ausweisung von PV-Freiflächen veröffentlichte das Bayerische Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr am 10.12.2021 Empfehlungen.

Dort wird empfohlen, einen Kriterienkatalog zu erstellen oder Vorranggebiet für Sondergebiete Solarnutzung auszuweisen. In der Praxis führt dies zu einem sehr geringen Ausbau des PV-Zubaus, weil Rahmenbedingungen nicht passen. Konkret stellen in der Lichtenau drei Flächeneigentümer ihre Grundstücke zur Bebauung mit Solarmodulen zur Verfügung. Momentan scheitern die weiteren Planungen an der Leistungskapazität des dortigen Stromnetzes. Mit jeglicher zusätzlichen Einschränkung durch einen Kriterienkatalog oder Beschränkungen aufgrund der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes finden sich meist Gründe, dass Anlagen nicht errichtet werden können.

Um die Energiewende im Bereich Strom zu erreichen, wäre inkl. dem prognostizierten Anstieg der E-Mobilität ein jährlicher Strombedarf von ca. 100.000 MWh im Jahr 2035 regenerativ zu decken. Anteilig auf die verbleibenden 12 Jahre müssten zu den bisher erzeugten 14.000 MWh jährlich zusätzlich weitere 7.000 MWh erzeugt werden. Diese Strommenge könnte nicht nur durch Photovoltaikstrom bereitgestellt werden, sondern auch durch die weitere Nutzung anderer regenerativer Energiequelle wie z.B. Tiefengeothermie, Biomasse, Wasser- oder Windkraft. Wie in Kapitel 4.1.1. beschrieben, müssten bei vollständiger Nutzung aller anderen wirtschaftlich sinnvollen Potenziale insgesamt ca. 16 ha an PV-Freifläche zugebaut werden. Erfolgt keine nennenswerte Steigerung bei PV-Dachanlagen, so wäre bis zum Jahr 2035 jährlich die Installation von 4 ha PV-Freifläche erforderlich, um zu einer bilanziell 100%-igen Stromversorgung zu gelangen.

Empfohlen wird daher, auf Kriterienkataloge oder weitere Einschränkungen beim Ausbau von PV-Freiflächen zu verzichten. Eine jährliche Auswertung des tatsächlichen Zubaus über die Berechnung der Konzessionsabgabe der Stromnetz Weilheim GmbH & Co KG könnte den Entscheidungsgremien jeweils den aktuellen Stand der regenerativen Stromversorgung bieten. Sollte die Steigerung des regenerativen Sektors inklusive der PV-Dachanlagen den jährlich zusätzlichen Wert von 7.000 MWh unterschreiten, so ist eine ablehnende Bewertung einer geplanten PV-Freifläche im Widerspruch zu den bisherigen politischen Bekenntnissen. Leider steht der Ausbau regenerativer Energien damit in direkter Konkurrenz zur Landwirtschaft. In der Praxis verursacht dies bedauerlicher Weise hohe Pachtpreise. Planerisch könnten die politischen Gremien der Stadt eine weitere Verschärfung der Situation verhindern, indem weitere Wohngebiet nur innerhalb der jetzigen Baugrenzen ausgewiesen werden oder eine Nachverdichtung stattfindet. Zusätzliche neue Gewerbegebiete oder ein umfangreicher Straßenneubau sollten daher vermieden werden.

Die bisherige Praxis bei der Abwägung der Schutzgüter muss ab dem kommenden Jahr neu vorgenommen werden. Mit Inkrafttreten des EEG 2023 gelten folgende Neuerungen:

*Besondere Bedeutung der erneuerbaren Energien:*

*Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Bis die Stromerzeugung im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden.*

#### **5.1.1.6 Besichtigung Schachtkraftwerk Großweil**

Nach wie vor halten sich Vorurteile, dass Wasserkraftanlagen die Durchgängigkeit von Flüssen verhindern und den Fischbestand nennenswert verletzen. Mit bisherigen Querverbauungen waren diese Bedenken berechtigt. Das Schachtkraftwerk in Großweil ist so ge-

plant und errichtet worden, dass der Fischschutz optimal gewährleistet ist. Eine Durchgängigkeit wurde auch für Geröll und Treibholz, das der Fluss mit sich führt, geschaffen. Der Standort des Kraftwerks liegt im Natura 2000-Gebiet, es mussten also sehr hohe ökologische Kriterien erfüllt werden.

Am Oderdinger Wehr, das bisher noch nicht durchgängig ist, könnte eine ähnliche Anlage in kleinerer Dimension errichtet werden. Die Planungen für einen Umbau zur rauen Rampe, wie er an den anderen Standorten im Stadtgebiet durchgeführt wurde, erfolgen durch das Wasserwirtschaftsamt Weilheim.

Der Beitrag einer derartigen Anlage zur regenerativen Stromversorgung für die Stadt Weilheim liegt bei 1,25 %. Der so erzeugte Strom bietet eine ganzjährige Grundlast.

Um sich ein Bild von der neuen Bauweise eines naturverträglichen Wasserkraftwerks zu machen, kann eine Exkursion von Entscheidungsträgern aus Verwaltung und Lokalpolitik zur bestehenden Anlage in Großweil durchgeführt werden.

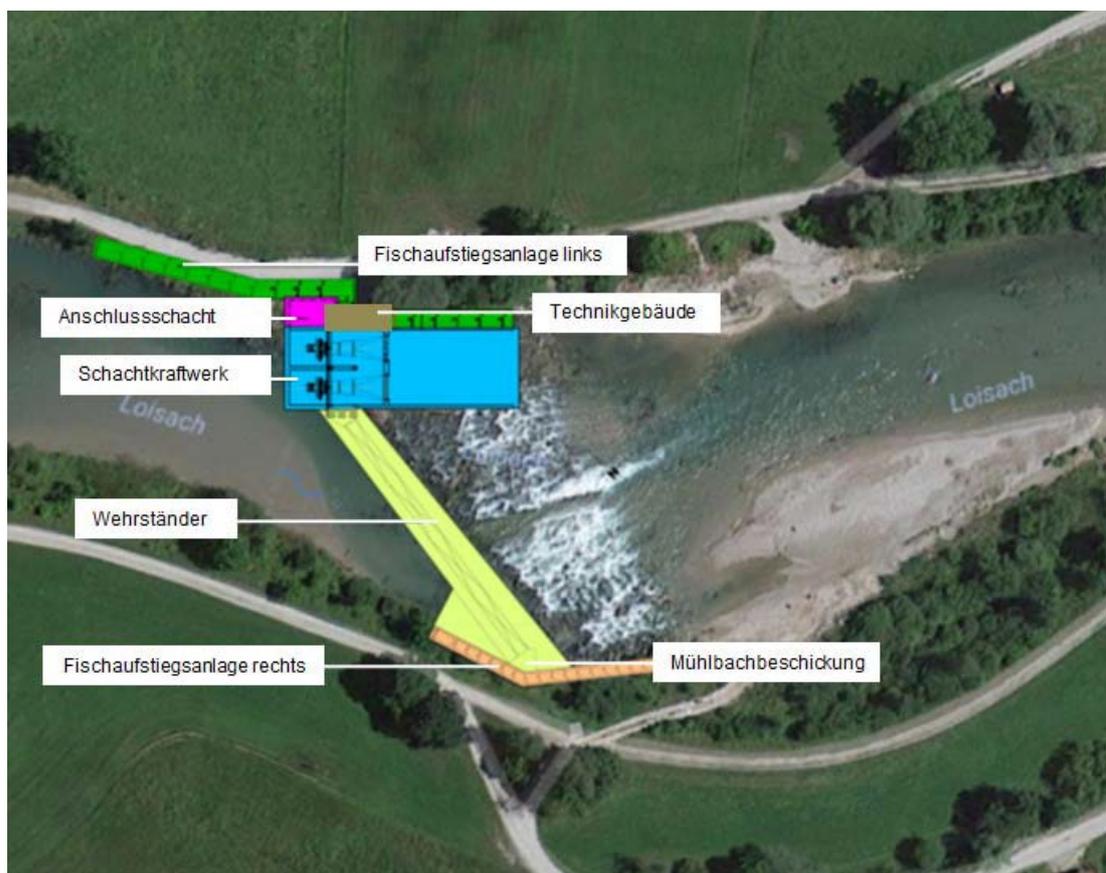


Abbildung 5-4: Grundkonzept Schachtkraftwerk Großweil (Wasserkraftwerk Großweil GmbH, 2015).

#### **5.1.1.7 Vorstellung neuer Geothermie-Technologie**

Am Bohrstandort Geretsried wird nach zwei gescheiterten Tiefenbohrungen und einem geförderten Forschungsprojekt ein weiterer Versuch gestartet geothermische Wärme nutzbar

zu machen. Anders als mit den bisherigen Technologien, die auf Durchlässigkeit der Gesteinsschichten angewiesen waren, soll ein geschlossenes Rohrsystem gebohrt werden. Zwei Bohrungen werden zeitgleich niedergebracht und in der zu erschließenden Tiefe von ca. 3.000 m in die Waagrechte abgelenkt. Ähnlich wie beim zweiten Bohrversuch können von einer senkrechten Bohrung mehrere Sidetracks erstellt werden, die am Ende des Erschließungsgebiets zusammentreffen (Abbildung 5-5). Im Vergleich zu herkömmlicher Tiefengeothermie ist der elektrische Aufwand zum Betrieb der Förderpumpen sehr gering.

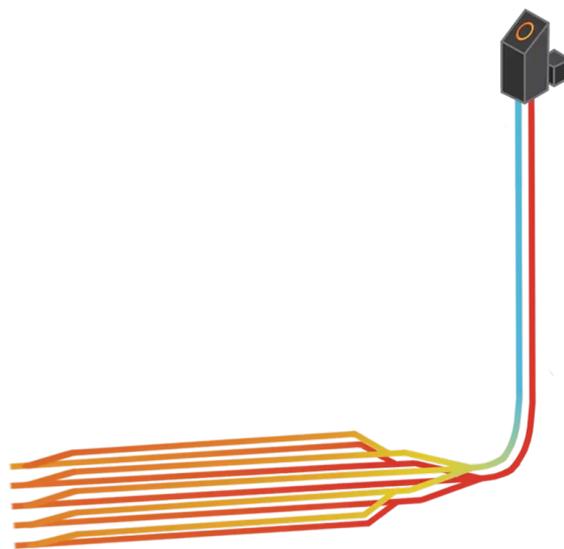


Abbildung 5-5: Konzept eines "EavorLoops"  
([www.eavor.de](http://www.eavor.de), 2022)

Die nutzbaren Wassermengen müssen nicht aus einer Tiefe von bisher ca. 600 bis 800 m angehoben werden. Es muss lediglich der geschlossene Kreislauf, ähnlich wie bei einer Heizkörper-Verteilung angestoßen werden. Zudem unterstützt der thermische Auftrieb des heißen Wassers den Kreislauf. Die Förderpumpen sitzen nicht mehr in großer Tiefe, Reparaturen sind somit leichter durchzuführen.

Nachdem im Claim Weilheim ähnliche Rahmenbedingungen wie in Geretsried herrschen, könnte diese Technologie die Stadt Weilheim in die Lage versetzen, langfristig im Bereich Wärmeversorgung unabhängig von fossilen Energieträgern zu werden. Die Vereinbarungen der Betreiberfirma mit der Stadt Geretsried besagen eine vorrangige Beschickung eines zukünftigen Wärmenetzes, die Verstromung des bis zu 140 °C heißen Wassers erfolgt lediglich bei überschüssiger Wärme. Somit stellt diese Nutzungsform eine Grundlastversorgung dar. Um diese Technologie näher kennen zu lernen, wird empfohlen, Vertreter der in Geretsried tätigen Firma Eavor-Loop™ zu einer Sitzung des Stadtrats oder des Klimabeirats einzuladen.

#### **5.1.1.8 Unternehmertreff „Energieeffizienz“**

Größere Unternehmen sind nach dem Energiedienstleistungsgesetz verpflichtet, im Rahmen eines Zertifizierungsverfahrens gem. DIN 50001 ein Energiemanagementsystem einzuführen. Die neue DIN 50005 bietet auch für kleine und mittlere Unternehmen ein standardisiertes Verfahren an. In der Praxis binden solche Verfahren zeitliche Kapazitäten der Betriebe, die den eigentlichen Mehrwert übersteigen. Die Stadt Weilheim könnte alternativ dazu für Unternehmen eine Veranstaltungsreihe zum Austausch für Unternehmen anbieten, die Informationen zu aktuellen Themen aus den Bereichen der Energiewende, der

Ausschöpfung von Einspar- und Effizienzpotenzialen und weiteren unternehmensspezifischen Themen liefert. Die Erstellung und Auswertung von Lastprofilen in den Bereichen Wärme- und Stromversorgung weist in der Regel auf enorme Einsparpotenziale hin.

Wiederkehrende Netzwerk-Veranstaltungen mit Besichtigungen von Best-Practice-Beispielen und Vorträgen qualifizierter Referenten bieten den Unternehmen oftmals mehr Handreichungen als Zertifizierungsverfahren.

Die Stadt kann zum einen dieses Format im Rahmen des Klimaschutzmanagements organisieren, zum anderen bei eigenen Liegenschaften Vorbild für privatwirtschaftliche Verwaltungsgebäude sein. Dieses Format kann einen Standortvorteil für Unternehmen im Stadtgebiet darstellen.

## **5.2 Maßnahmen für Bürgerinnen und Bürger**

Eine entscheidende Rolle für den Erfolg der Energiewende kommt den Bürgerinnen und Bürgern zu. Entscheidend ist nicht nur die Akzeptanz von Großprojekten, den eigenen Handlungsspielraum zu erkennen und aktiv Beiträge zum Klimaschutz zu fördern, muss das Ziel sowohl in der übergeordneten als auch der lokalen Politik sein. Daher werden folgende Maßnahmen für eine Breitenwirkung in der Energiewende empfohlen.

### **5.2.1 Thementag Solar**

Der Landkreis Weilheim-Schongau stellt seit einigen Jahren ein Solarpotenzialkataster zur Verfügung (Abbildung 5-7, <https://www.solare-stadt.de/lk-wm-sog/>). Damit kann gebäudescharf ermittelt werden, welche Dachflächen für die Nutzung von Solarenergie geeignet sind. Es können sowohl solarthermische Anlagen als auch PV-Anlagen zur Stromerzeugung überschlägig simuliert werden. Auf Infoabenden oder in Beratungsgesprächen kristallisiert sich immer wieder heraus, dass nicht computer-affine Bürgerinnen und Bürger mit diesem Tool nicht zurechtkommen oder dessen Ergebnisse nicht schlüssig nachvollziehen können. Tritt man zu diesem Zeitpunkt an ein ausführendes Unternehmen heran, so ist der Endverbraucher sofort mit Vertriebsinteressen konfrontiert.

Mit einer anbieterneutralen Beratung könnten gerade ältere Hausbesitzerinnen und Hausbesitzer Entscheidungshilfen bekommen, die zu einer zügigeren Umsetzung der Projekte führen würde. Von Seiten der Verbraucherzentrale Bayern gibt es zwar die sogenannte aufsuchende Solarberatung oder den Eignungs-Check Heizung, allerdings sind die Beraterinnen und Berater langfristig ausgebucht. Mit einer „Solarsprechstunde“ könnten auch versierte Laien, etwa aus dem AK Energie Simulationen aus dem Solarpotenzialkataster des Landkreises erstellen und den Mitbürgerinnen und Mitbürgern konkrete Empfehlungen geben. Für Mieter oder Bewohner von Mehrfamilienhäusern könnte auch Beratung zu sog.

Balkonkraftwerken durchgeführt werden. Diese steckerfertigen Solarmodule für den Eigenverbrauch können unkompliziert installiert werden, ohne dass hohe Investitionskosten damit verbunden sind.

Mit einer monatlichen Beratung z.B. im Rathaus oder im Stadtmuseum können die Mitglieder des AK Energie abwechselnd oder in unterschiedlichen Teams die Beratungen durchführen.

### 5.2.2 Dachintegrierte PV-Anlagen / Solardachziegel

Restriktive Ortsgestaltungssatzungen, Denkmalschutz oder ästhetische Vorbehalte verhindern oft den Bau von PV-Anlagen auf geeigneten Dachflächen. Diese Flächen stellen allerdings ein großes – und um die Energiewende vor Ort voranzubringen - unbedingt zu nutzendes Potenzial zur erneuerbaren Stromerzeugung dar. Optisch unauffälligere Lösungen sind dachintegrierte PV-Anlagen oder Solardachziegel (Abbildung 5-6).



Abbildung 5-6: Beispiele für eine dachintegrierte PV-Anlage in Dürnbach (links) und Solardachziegel (<https://www.autarq.com>) (rechts).

Bei dachintegrierten Anlagen werden die Module in die Ebene der Dachziegel integriert, wodurch sie optisch weniger auffällt. Solardachziegel werden wie normale Dachziegel verlegt und integrieren sich damit noch dezenter in die Dachfläche. Ein weiterer Vorteil der Solardachziegel ist, dass auch kleinere Flächen oder Dachgauben leichter belegt werden können.

Ob ein Dach für Photovoltaik- oder Solarthermie-Anlagen geeignet ist, kann einfach und unkompliziert über das Solarpotenzialkataster des Landkreises herausgefunden werden: <https://www.solare-stadt.de/lk-wm-sog/>. Neben der Eignung einer Dachfläche können durch die Eingaben von Energieverbräuchen und des Nutzerverhaltens Anlagen konfiguriert und die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage berechnet werden.



Abbildung 5-7: Ausschnitt aus dem Solarpotenzialkataster des Landkreises Weilheim-Schongau (<https://www.solare-stadt.de/lk-wm-sog/>).

### 5.2.3 Thermografie-Spaziergang

Die Thermographie ist ein bildgebendes Verfahren, bei welchem mittels einer speziellen Kamera die Wärmestrahlung sichtbar gemacht wird. Das so entstehende Bild stellt die Temperaturverteilung an der Oberfläche dar und ermöglicht damit die Lokalisierung von Schwachstellen in der Gebäudehülle. Häufig wird diese Technik auch für die Energieberatung vor Ort eingesetzt. Zu beachten ist jedoch, dass immer nur eine Momentaufnahme dargestellt werden kann und eine verlässliche Aussage nur zusammen mit der Kenntnis über die bauliche Substanz der Gebäudehülle zu treffen ist. Aussagekräftige Bilder können nur bei kalter Witterung und beheizten Gebäuden erstellt werden.

Mit gemeinsamen Rundgängen in Begleitung eines fachkundigen Baufachmanns können Potenziale zur Energieeinsparungen in Wohngebäude sichtbar gemacht werden. Allgemeine Ratschläge zu Dämm-Maßnahmen können gegeben werden, gebäudespezifische Beratungen sind nicht Teil des Rundgangs.

### 5.2.4 Heizungstausch-Offensive – welches Heizsystem ist das richtige?

Viele Gebäude in Weilheim sind private Ein- und Zweifamilienhäuser. Welche Heizsysteme in diesen Gebäuden geeignet sind und wie diese bzgl. ihrer Klimabilanz bewertet werden können, ist in Tabelle 5-1 dargestellt.

Vor dem Austausch der Heizanlage, kann oft eine vorausgehende **Gebäudesanierung** sein. Dafür gibt es umfangreiche Förderungen. Die KfW-Bank fördert Sanierungsmaßnahmen beispielsweise mit dem Programmen 261 in Form eines Kredits. Das BAFA unterstützt

Gebäudeeigentümer über die „Bundesförderung effiziente Gebäude“ in Form eines Investitionskostenzuschusses. Weitere Informationen und Fördermöglichkeiten sind in Kapitel 6 zu finden.

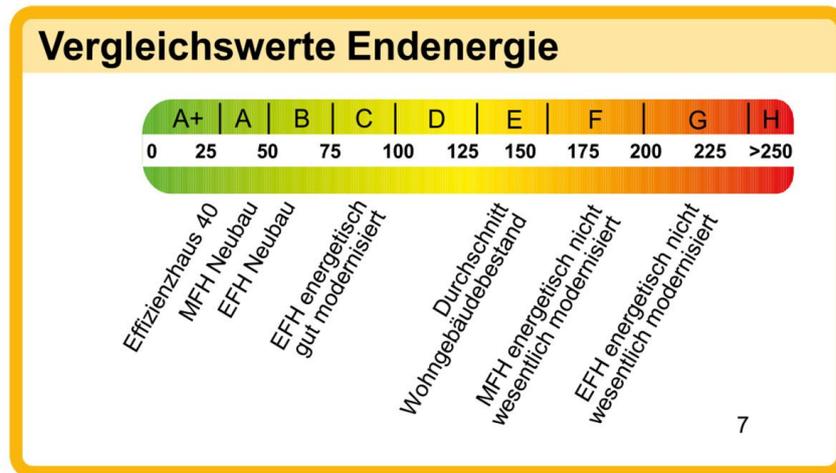


Abbildung 5-8: Energiestandards von Gebäuden [kWh/m<sup>2</sup>\*a].

Tabelle 5-1: Entscheidungsmatrix für Heizsysteme in Ein- und Zweifamilienhäusern.

	Niedrigenergie- haus	Bestandsge- bäude saniert	Bestands-ge- bäude	BAFA Förderung	BAFA-Austausch- prämie*	Solarthermie empfohlen	PV-Anlage empfohlen	Klimabilanz
Wärmebedarf pro m <sup>2</sup> und Jahr	< 50 kWh/m <sup>2</sup> *a	< 100 kWh/m <sup>2</sup> *a	> 100 kWh/m <sup>2</sup> *a					
<b>Heizsystem</b>								
Sonden-Wärmepumpe Vor- lauftemperatur max. 45°C				30%	+ 10%	++	++	gut
Grundwasser-Wärmepumpe Vorlauftemperatur max. 45 °C				30%	+ 10%	++	++	gut
Luftwärmepumpe Vorlauftem- peratur max. 35 °C				25%	+ 10%	++	++	mittel
Pellet-Zentralheizung				10-15%	+ 10%	++	++	sehr gut
Stückholz-Zentralheizung				10-15%	+ 10%	++	++	sehr gut
Nahwärmeversorgung Hack- schnittzel				25%	+ Trassenförde- rung (KfW 271)	+	++	sehr gut
Kaminofen mit Wassertasche				10-15%	+10%	+++	++	sehr gut
Elektro-Direktheizung mit PV-Anlage						-	+++	schlecht
Brennstoffzelle Erdgas				mind. 7050,- € (KfW 433)		-	++	mittel

Ist das System für das Gebäude technisch geeignet?	sehr gut geeignet	nur für größere Gebäude	ungeeignet
	gut geeignet	wenig geeignet	

\*Austausch-Prämie: Für Öl-, Gasetagen-, Gaszentral-, Kohle-, oder Nachtspeicherheizanlagen (Gaszentralheizungen Mindestalter 20 Jahre)

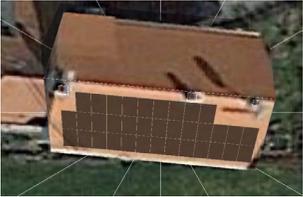
### 5.3 Schwerpunktprojekt Erneuerbare Energien

Aktuell werden rund 840 MWh Strom pro Jahr in den städtischen Liegenschaften verbraucht. Nicht zuletzt mit den steigenden Energiepreisen geht das auch mit sehr hohen Kosten einher. Ziel soll es sein, möglichst viel des benötigten Stroms vor Ort regenerativ selbst zu erzeugen. Einige Dachflächen, die für die Installation einer PV-Anlage geeignet sind, bleiben bisher ungenutzt. Für diejenigen Gebäude, die einen relativ hohen Stromverbrauch und geeignete Dachflächen besitzen, wurden detaillierte Simulationen für die Solarenergienutzung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst, die Ergebnisberichte der Simulationen befinden sich im digitalen Anhang.

Tabelle 5-2: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse des PV-Potenzials auf kommunale Liegenschaften.

Liegenschaft und aktueller Stromverbrauch	Inst. Leistung	Eigenverbrauch	Investitionskosten	Strom Gestehungskosten	Amortisationsdauer	Einsparpotenzial		Kommentar
						CO2	Primärenergie	
Stadtarchiv 27.000 kWh/a 	3,5 kW	87 %	6.237 €	0,1247 €/kWh	7,5 Jahre	1,7 t/a	6,7 MWh/a	
Mittelschule 137.000 kWh/a 	54,5 kW	85 %	65.394 €	0,0848 €/kWh	5,2 Jahre	27 t/a	103 MWh/a	

<p>Stadtbücherei 33.000 kWh/a</p> 	8,8 kW	80 %	15.876 €	0,1348 €/kWh	8,7 Jahre	4,1 t/a	15,8 MWh/a	Vor Planung einer PV-Anlage ist die Statik des Daches zu überprüfen. Ggf. könnte eine Indach-Anlage geeignet sein, um das zusätzliche Gewicht der Module zu minimieren.
<p>Kindergarten (mit FFW) Unterhausen 11.000 kWh/a</p> 	6,7 kW	84 %	12.474 €	0,131 €/kWh	8,1 Jahre	3,3 t/a	12,8 MWh/a	Perspektivisch könnte durch eine mögl. E-Ladesäule und ggf. mehr Nachmittagsbetreuung Stromverbrauch und damit Eigenverbrauch steigen.
<p>AWO Kinderhaus 38.000 kWh/a</p> 	44,1 kW	45 %	52.920 €	0,0791 €/kWh	7,6 Jahre	23,4 t/a	89,7 MWh/a	Perspektivisch könnte durch eine mögl. E-Ladesäule und ggf. mehr Nachmittagsbetreuung Stromverbrauch und damit Eigenverbrauch steigen.

<p>Alte Schule Marnbach</p> 	9,4 kW		17.010 €	0,1061 €/kWh	16,2 Jahre	5,6 t/a	21,5 MWh/a	Volleinspeiseanlage, da nur geringer Eigenbedarf
<p>Gemeindehaus Marnbach</p> 	18,9 kW		28.350 €	0,1004 €/kWh	18,8 Jahre	9,9 t/a	37,9 MWh/a	Volleinspeiseanlage, da nur geringer Eigenbedarf
<p>Kindergarten „Weltentdecker“</p> 	<p>Die neue Kindertagesstätte an der Kanalstraße 2b verfügt über ein Flachdach mit einer Fläche von ca. 360 m<sup>2</sup>. Bei vollflächiger Belegung mit PV-Modulen könnte hier eine Anlage mit einer maximalen Leistung von ca. <b>40 kW</b> installiert werden.</p> <p>Der Betrieb der Einrichtung erfolgt nicht über die Stadt Weilheim. Um die Anlage zur Eigenstromnutzung verwenden zu können, muss nach aktuellem Energierecht Betreiber und Nutzer "personenidentisch" sein. Über einen zusätzlichen Pachtvertrag könnte dies ähnlich geregelt werden wie z.B. zwischen den Stadtwerken Weilheim und dem Landkreis Weilheim-Schongau als Sachaufwandsträger der neuen Berufsschule.</p> <p>Ein <b>Stromeinsparpotenzial</b> ergibt sich an diesem Gebäude durch eine bedarfsgerechte Außenbeleuchtung. Diese ist in den Abendstunden eingeschaltet, obwohl auf dem Gelände keine Nutzung stattfindet. Um Vandalismus vorzubeugen, würde eine Schaltung über Bewegungsmelder ausreichen.</p>							

## 5.4 Schwerpunktprojekt Neubauten

Die meisten Kriterien zum nachhaltigen Bau von neuen Gebäuden wurden bereits mit den Kriterien im Leitbild der Stadt sowie dem integrierten Städtebaulichen Entwicklungskonzept hinterlegt. Zusätzlich wurde die Weilheim Charta für nachhaltigen Wohnungsbau verfasst. Der Gesetzgeber hat mit der jüngsten Fassung des Gebäude-Energien-Gesetz (GEG) keine weitere Erhöhung der baulichen Anforderung an Neubauten festgesetzt. Die bestehenden Vorgaben in Kombination mit den derzeit sehr hohen Energiekosten führen jedoch dazu, dass energetische Baustandards ein wichtiges Kriterium für private Bauleute sind. Im Bereich der gewerblichen Immobilienwirtschaft ist dies nicht immer der Fall: Die Anforderungen an die Anlagentechnik und die Gebäudehülle werden meist nur so weit erfüllt, dass ein plausibler Energieausweis erstellt werden kann, Unterhaltskosten der Gebäude spielen hier nur eine untergeordnete Rolle.

Bei Planung und Erschließung eines größeren Neubaugebietes ergibt sich die Möglichkeit, die Energieversorgung der Gebäude bereits im Voraus möglichst klimaschonend festzulegen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass neue Häuser nach dem derzeit geltenden GEG errichtet werden müssen. Die Transmissionswärmeverluste über die Gebäudehülle sowie die Lüftungswärmeverluste sind dabei bereits gering. Nochmal niedriger fällt der Wärmebedarf aus, wenn über den Standard des GEG hinaus Effizienzhäuser 40 errichtet werden.

Aus Sicht des Klimaschutzes, der Energiewende und der regionalen Wertschöpfung ist eine gemeinschaftliche Wärmeversorgung auf Basis regionaler, erneuerbarer Energien grundsätzlich zu begrüßen. Wie bereits vom Beratungsunternehmen „Büro für die Energiewende“ aus Wilzhofen im Auftrag der Stadtwerke Weilheim ausführlich untersucht wurde, könnte das Neubaugebiet „Nördlich der Geistbühelstraße“ als bilanziell energieunabhängiges Gebiet erschlossen werden. Mehrere Gebäude werden mit einem sog. Kalten Nahwärmenetz versorgt, d.h. es werden ungedämmte Kunststoffleitungen verlegt, die aus Grundwasserbrunnen gespeist werden. Jedes Gebäude kann daraus mittels Wärmepumpe Energie entziehen und so das Gebäude beheizen. Dabei kühlt das Wärmedium Grundwasser von nahezu ganzjährig 10 °C um ca. 4 K ab und wird in dieselbe wasserführende Schicht über einen Schluckbrunnen abgeleitet.

Diese Technologien sind zur Beheizung von Neubauten mit Flächenheizungen, z.B. Fußbodenheizung hervorragend geeignet. Die Investitionskosten einer solchen Wärmeversorgung setzen sich aus den Kosten der Brunnenbohrungen und der gemeinsamen Pumpstation und Verteilung zusammen. Für den laufenden Betrieb sind die Kosten relativ gering. Durch den Betrieb einer PV-Anlage können die Stromkosten zusätzlich gesenkt werden. Ergänzend zu den bisherigen Planungen wird vorgeschlagen, die neuen Gebäude mit Pultdächer Richtung Süden auszustatten. Damit wird die Fläche für eine solare Nutzung der Dächer erhöht und deren Ertrag gesteigert.

## **Mehrwert durch Sektorenkopplung**

Ein zusätzlicher Mehrwert für die Energiewende besteht darin, dass zukünftige Hauseigentümer mit der Erzeugung von Eigenstrom durch Photovoltaik zu geringen Wärmekosten beitragen können. Die Wärmepumpe mit dem Energieträger Strom kann zum Teil mit Eigenstrom vom Hausdach oder der Südfassade betrieben werden.

Darüber hinaus erhöht sich die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaik-Anlage weiter, wenn neben dem Strombedarf des Gebäudes auch ein Elektrofahrzeug geladen wird, wodurch sich ein weiterer Anreiz bietet.

## **Wärmeversorgung der Mehrfamilienhäuser**

In den geplanten Mehrfamilienhäusern könnte für den Heizbetrieb ebenfalls eine Wärmepumpe den Heizbetrieb zuverlässig und ökologisch sicherstellen. Schwierig gestaltet sich jedoch die hygienische Bereitstellung von Warmwasser. Eine zentrale Warmwasserversorgung mit einer konventionellen Wärmepumpe verursacht durch die Auflagen zur Legionellen-Freihaltung meist sehr hohe Stromkosten. Diese Aufheizung ist zusätzlich zur erforderlichen Nutzwärme bereitzustellen, sodass die Unterhaltskosten dafür umgelegt und dementsprechend höher ausfallen.

Speziell für die Warmwasserbereitung kann eine sog. Hochtemperatur-Wärmepumpe dienen, die dank eines zweiten Kühlkreislaufs hohe Vorlauftemperatur von bis zu 80 °C zuliefern.

Die zukunftsfähige Wärmeversorgung von Neubauten greift vorwiegend auf den Energieträger Strom zurück. Um die Nutzerinnen und Nutzer dieser Gebäude langfristig vor hohen Nebenkosten zu schützen, ist ein maximaler Ausbau der PV-Technologie zu empfehlen. Es gilt daher, alle verfügbaren Flächen auf dem Dach und an der Südfassade der Gebäude zu nutzen, um regenerativen Strom zu erzeugen. Gerade die gebäudebündige, senkrechte Installation von PV-Modulen bietet im Winter den Vorteil, dass kein Schnee darauf liegen bleibt und mit flachem Einstrahlwinkel relative gute Erträge erzielt werden können.

Die im Gesetz zum Aufbau einer gebäudeintegrierten Lade- und Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität (GEIG) geforderten Ladesäulen sind in Verbindung mit der Elektroverteilung so auszustatten, dass ein bidirektionaler Betrieb zum Beladen von E-Fahrzeugen sowie eine Nutzung der fahrzeug-integrierten Batterien zur Stromversorgung der Gebäude zukünftig gesteuert werden kann.

Generelle Handlungsoptionen der Stadt für CO<sub>2</sub>-neutrale Neubaugebiete werden in Kapitel 5.1.1.3 erläutert.

## 5.5 Schwerpunktprojekt Bestandsgebäude: Sanierungsempfehlung Stadttheater

Bereits im Energiebericht von 2010 wurde vom Ingenieurbüro Meinrad Ryba das Stadttheater als energetisch sanierungsbedürftig klassifiziert. Wie bei vielen betagten Bestandsgebäuden ist der finanzielle Aufwand für derartige Maßnahmen erheblich. Oftmals kommen zu den Energiethemen auch Aspekte des Brandschutzes oder der Barrierefreiheit hinzu, sodass eine Sanierung im städtischen Haushalt nicht unterzubringen ist. Vorgeschlagen werden daher hier drei Maßnahmen, die am meisten zur Kosteneinsparung im Unterhalt beitragen können.

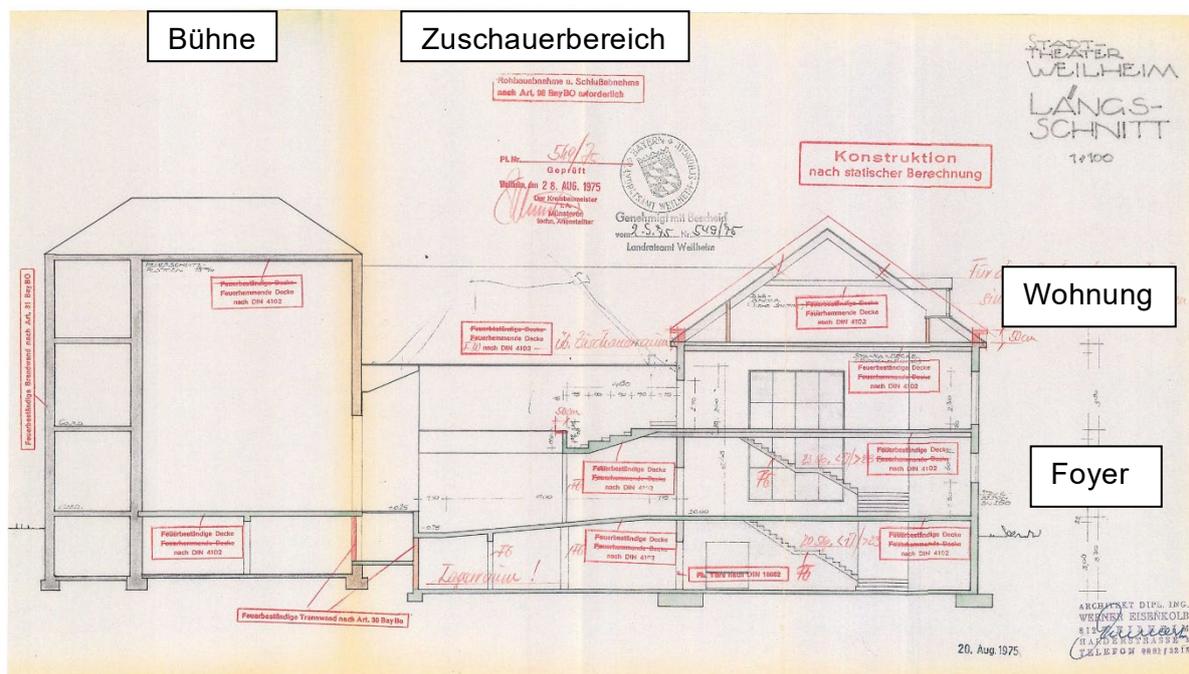


Abbildung 5-9: Längsschnitt Stadttheater Weilheim.

### Sanierung der obersten Geschoßdecke über dem Zuschauerraum



Abbildung 5-10: Vogelperspektive Stadttheater Weilheim.

Der bestehende Dachaufbau des Zuschauertraktes verfügt teilweise nur über eine wasserführende Schicht, es ist also lediglich eine Ziegeleindeckung ohne Schalung. Immer wieder müssen Reparaturen durchgeführt werden, um Schäden am Dachstuhl zu vermeiden.

Die Zwischendecke zwischen Zuschauerraum und Speicher ist mit dicken Balkenlagen erstellt. Dort wäre eine Dämmung der obersten Geschoßdecke möglich. Der Bühnenbereich ist wesentlich höher, dort befinden sich die Seilzüge für die Bühnentechnik

direkt am Speicherboden. Der Dachstuhl wurde zum Teil von innen gedämmt (Abbildung 5-11). Wünschenswert wäre zwar eine Dämmung des kompletten Dachstuhls, der Aufwand dafür wäre jedoch sehr hoch.

Das Obergeschoß der Eingangshalle wurde zu Wohn- und Aufenthaltsräumen umgebaut, und der Dachstuhl in diesem Bereich mit Dämm-Material ausgestattet.

Zu empfehlen ist aus energetischer Sicht vorrangig die Dämmung der obersten Geschosßdecke im Zuschauerbereich.

Aspekte des Brandschutzes sowie der Statik und ggf. des Denkmalschutzes sind selbstverständlich zusätzlich zu berücksichtigen.

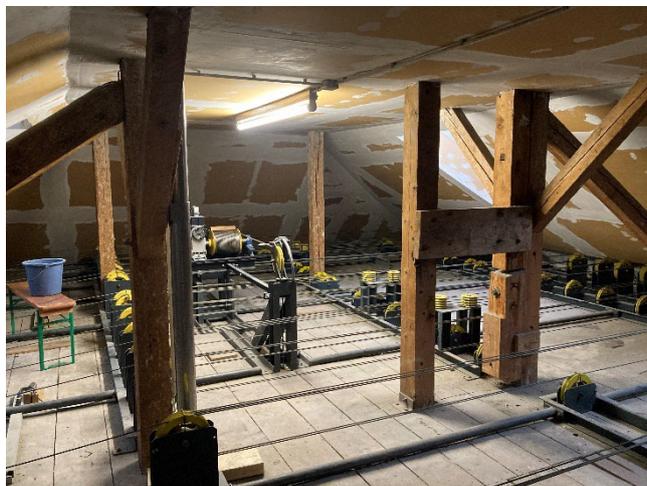


Abbildung 5-11: Teilweise gedämmtter Dachstuhl über dem Bühnenbereich.

### **Erneuerung der Lüftungsanlage**

Die bestehende Lüftungsanlage entzieht dem Zuschauerraum lediglich die nach oben steigende Warmluft und führt sie über flexible Aluminium-Kanäle nach außen. Frischluft strömt unkontrolliert durch die Türen nach. Eine Wärmerückgewinnung findet nicht statt.

Die Luftwechselrate wird in der Regel nach Raumgröße bestimmt, kann aber auch in Abhängigkeit von Personenzahlen gerechnet werden. Pro Person wird für Kinos und Theater eine Luftmenge von mind. 20 m<sup>3</sup>/h empfohlen. Bei gut 300 Sitzplätzen wäre also eine Belüftung im Umfang von 6.000 m<sup>3</sup>/h erforderlich. Die Schwierigkeiten bei der Planung einer derartigen Anlage wären vielfältig. Die erforderlichen Maßnahmen zur statischen Aufnahme zusätzlicher Lasten wären erheblich.

Nachdem im Stadttheater Weilheim meist Abendveranstaltungen mit einer Dauer von maximal drei Stunden und teilweise mit Pausen stattfinden, könnten auch mehrere dezentrale Lüftungsgeräte mit niedrigerer Luftwechselrate installiert werden und so für eine effiziente Belüftung sorgen.

Dezentrale Lüftungsgeräte werden in die Nähe von Außenwänden platziert. So werden Energieverluste beim Transport der Außenluft vermieden. Hocheffiziente Gegenstromwärmetauscher leisten bis zu 85 %, gemessen als trockener Wirkungsgrad gemäß EU EN308, und bis zu 95 %, wenn die Kondensierung mitgerechnet wird. Dies trägt zu einem hohen Maß an Wärmerückgewinnung und einer äußerst energieeffizienten Lüftung bei. Es sind keine lange Lüftungskanäle erforderlich. So wird ein minimaler Wärmeverlust (Übertragungsverlust) erzielt.

Neben den Effekten der Energieeffizienz reduzieren diese Anlagen auch das Infektionsrisiko mit Corona-Viren.

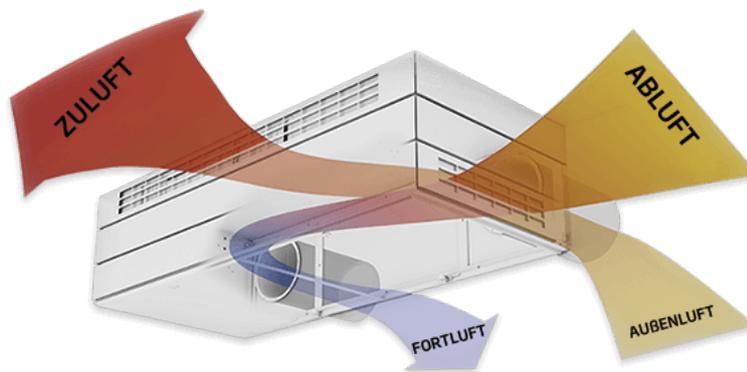


Abbildung 5-12: Funktionsweise einer dezentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (www.airmaster-as.de, 2022)

### **Anbindung an die Fernwärme der Stadtwerke Weilheim**

Die beiden bestehenden atmosphärischen Gaskessel verursachen hohe Energiekosten. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad, der über regelmäßige Messungen ermittelt wird, ist zwar in Ordnung, der anlagentechnische Wirkungsgrad übers das ganze Jahr hin ist jedoch aufgrund von Abstrahlungs- und Bereitschaftsverlusten sehr hoch.

Die Erschließung des Theaterplatzes mit Fernwärmeleitungen wird noch erheblich Zeit in Anspruch nehmen, ein Umschluss auf dieses System ist zeitnah nicht realisierbar. Die Installation eines neuen Gasbrennwertgeräts wäre allerdings zum jetzigen Zeitpunkt ein falsches Signal.

Eventuell ergibt sich mit dem Ausbau der Fernwärme Weilheim die Demontage eines passenden Brennwertgeräts, das jünger als 10 Jahre ist. Die bisherigen Doppelkessel verfügen über eine Wärmeleistung von 2 x 78 kW, wobei sie auf abwechselnde Betriebsweise ausgelegt sind. Zudem reduzieren die bereits erfolgten energetischen Maßnahmen die Heizlast. Ein Brennwertkessel mit einer thermischen Leistung von 60 kW würde für eine ausreichende Beheizung des Stadttheaters sorgen.

## **5.6 Schwerpunktprojekt Arealversorgung**

Als Arealnetz wird ein Niederspannungs-Verteilnetz über mehrere private oder gewerbliche Grundstücke bezeichnet. Ziel ist es, den vor Ort erzeugten Strom den angeschlossenen Letztverbrauchern zur Verfügung zu stellen, ohne die zahlreichen Abgaben und Umlagen auf den verbrauchten Strom zu entrichten. Ein Arealnetz ist keine Inselanlage, sondern ist mit dem vorgelagerten Stromnetz verbunden. Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) lässt mittlerweile nicht nur den Konzessionsnehmer einer Kommune als Stromnetzbetreiber zu, sondern bietet auch die Möglichkeit, abgegrenzte Areale mit einem eigenen Stromnetz

auszustatten. Solange ein Baugebiet noch nicht öffentlich erschlossen ist, greif das Konzessionsrecht noch nicht, sodass hier elektrische Verteilleitungen verlegt werden dürfen. Gegenüber dem Netzbetreiber ist das gesamte Erschließungsgebiet als eine Kundenanlage darzustellen.

Neben den hohen Investitionen, die hierfür vorab zu tätigen sind, gibt es zahlreiche Auflagen an den Betreiber eines Stromnetzes. Zunächst ist es erforderlich mit dem vorgelagerten Verteilnetzbetreiber eine Vereinbarung über Eigentumsgrenzen, Abrechnung und Zuständigkeiten zu schließen. Ferner muss eine Anmeldung bei der Bundesnetzagentur und dem zuständigen Hauptzollamt als Stromlieferant für Endkundenbelieferung erfolgen. Dazu gehört auch die Benennung eines Bilanzkreisverantwortlichen.

Der wirtschaftliche Betrieb von Arealnetzen ist nur möglich, wenn ein Großteil der Stromerzeugung und des -verbrauchs intern stattfindet. Eine zusätzliche Vermarktung von Wärme oder Kälte fördert den Ertrag der Investitionen.

Das Baugebiet nördlich der Geistbühelstrasse könnte als Arealnetz erfolgen. Alle PV-Dachanlagen könnten Strom direkt an Stromkunden dort liefern, Überschüsse in E-Fahrzeuge einlagern oder ins vorgelagerte Netz einspeisen. Eine rechtssichere Gestaltung der Kundenanlage bedarf einer kompetenten Beratung zu den verschiedenen Themen des Energierechts. Wirtschaftlich können sowohl Stromkunden als auch die Betreiber der PV-Dachanlagen von diesem Modell langfristig profitieren. Eine Schwierigkeit besteht darin, einen Betreiber für ein relativ kleines Arealnetz zu finden, naheliegend wäre ein Betrieb durch die Stadtwerke Weilheim.

Da die Stadtwerke Weilheim auch bestrebt sind, in die Stromnetz Weilheim GmbH & Co KG einzusteigen, wäre die Installation eines Arealnetzes innerhalb des eigenen Stromnetz jedoch ein zusätzlicher Mehraufwand, der nicht zu rechtfertigen ist.

## **5.7 Schwerpunktprojekt Ladeinfrastruktur**

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben ist eine Elektrifizierung des Straßenverkehrs und damit einhergehend ein Ausbau der Ladeinfrastruktur unerlässlich, um den Mehrbedarf an Ladestrom zu decken. Dabei kann die Kommune durch die Förderung strategisch günstiger Ladepunkte die Attraktivität von E-Fahrzeugen steigern.

Ein koordinierter Aufbau im Rahmen eines ganzheitlichen Konzepts ist dabei entscheidend für den Markthochlauf. Kommunen werden daher im Rahmen des „Masterplan Ladeinfrastruktur II“ (Bundesregierung, 2022) gebeten bis Ende des dritten Quartals 2023 vor Ort Masterpläne zu erarbeiten.

Laut AFID Richtlinie des europäischen Parlaments (2014) wird für die Verteilung von E-Fahrzeugen zu öffentlich zugänglichen Ladepunkten ein Verhältnis von 10:1 angenommen. Es zeichnet sich jedoch bereits ab, dass im ländlichen und suburbanen Raum aufgrund

der Gebäudestruktur und höherer Verfügbarkeit privater Ladepunkte deutlich mehr E-Fahrzeuge je öffentlichem Ladepunkt zugelassen werden. Im ländlichen Raum gehen Windt und Arnhold (2020) daher von einem Verhältnis von 23:1 aus. In Weilheim wäre demnach bereits aktuell Bedarf für 16 öffentlich zugängliche Ladestationen, das Ziel sollte die Errichtung von etwa **200 öffentlich zugänglichen Ladepunkten bis 2030** sein. In den wichtigsten Szenarien der „Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf“ (Windt & Arnhold, 2020) liegt die Verteilung der öffentlich zugänglichen Ladepunkte bei etwa 60 % im Straßenraum, weitere gut 30 % an Kundenparkplätzen und jeweils etwa 3-4 % an Lade-Hubs mit hoher Ladeleistung innerorts bzw. an wichtigen Verkehrsachsen.

Tabelle 5-3: Standortpotenzial erhöhende und senkende Kriterien (*DIN SPEC 91433, 2020*)

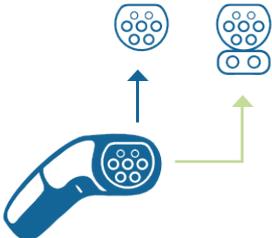
Standortpotenzial erhöhende Kriterien	Standortpotenzial senkende Kriterien
Flächenverfügbarkeit für Ladeinfrastruktur	Bodenmedien, die zu höheren Baukosten führen
Stellplatzverfügbarkeit	Lärmschutz (insbesondere bei High Power Chargern)
Ausbaumöglichkeiten	Denkmalschutz
Möglichkeiten die Ladezeiten/Verweildauer zu nutzen	Altlasten (Abrisse oder Bodenbelastungen)
Erreichbarkeit	Unterirdische Leitungen (z. B. Telekommunikation, Wasser, Gas, usw.)
Sichtbarkeit und Öffentlichkeitswirkung	Radwege
vorhandene zu nutzende Fahrzeuge	Bäume
Vorhandene ÖPNV-, Carsharing-, usw. -möglichkeiten	Sonderparkflächen
freie Netzkapazitäten	Straßenzubehör/-mobiliar
Zugänglichkeit des Stromnetzes	Beeinträchtigung der Sicherheit und Leichtigkeit des Straßenverkehrs
	vorhandene oder bereits geplante Ladeinfrastruktur

Unter Berücksichtigung der bestehenden Orts-Struktur wurde zunächst eine Übersicht erstellt, um in Verbindung mit den vom standortTOOL (NOW GmbH, 2022) ausgewiesenen Ausbaupotenzialen mögliche Ladepunkte zu identifizieren. Die Potenziale entsprechen dabei dem Bedarf an Ladungen pro Tag, welche sich 2030 unter der Annahme von 15 Mio.

E-Fahrzeugen bundesweit, einem Anteil an privatem Laden von 60 % und einer Aufbaustrategie nach „Status Quo“ (25% Verfügbarkeit öffentlicher LI in Wohngebieten) ergeben (Tabelle auf Abbildung 5-14). Auf der Website des StandortTOOLS können mittels verschiedener Regler die Potenziale unterschiedlicher Ausbauszenarien ermittelt werden (<https://www.standorttool.de/strom/ladebedarfe/>). Für die Standortsuche wurden weiterhin die in Tabelle 5-3 dargestellten Kriterien berücksichtigt, die der DIN-Leitfaden zur Suchraum- und Standortidentifizierung (*DIN SPEC 91433*, 2020) anführt.

Weiters gibt der „Masterplan Ladeinfrastruktur II“ vor, dass insbesondere Flächen an Verkehrsknotenpunkten wie z.B. Bahnhöfen, Flughäfen und Park & Ride-Parkplätzen für den Aufbau von Ladeinfrastruktur schnell nutzbar gemacht werden. Auch eine Verstärkung der bisher vorherrschenden AC-Infrastruktur durch HPC-Lade-Hubs an innerstädtischen Orten mit hohem Bedarf soll forciert werden (Bundesregierung, 2022).

Tabelle 5-4: Gängige Werte für das Laden von Elektrofahrzeugen. In Klammern ist beispielhaft die Ladezeit eines Renault Zoe mit 41 kWh Batterie bei jeweiliger Ladeleistung dargestellt (DKE et al., 2021; Renault, 2022)

	AC-Laden		DC-Laden
<b>Normalladen</b>	AC, 1-phasig	3,7 kW (15 h)	
	AC	7,4 kW (7 h 20 min)	
		11 kW (3 h 20 min)	
		22 kW (1 h 40 min)	
<b>Schnellladen</b>	3-phasig	43,5 kW	50 kW (50 min)
<b>Hochleistungsladen</b>			150 kW
			350 kW
			450 kW
<b>Steckertyp</b>	Typ 2 Combo 2 		Combo 2 

Weitere strategische Überlegung neben dem Standort ist die benötigte Ladeleistung, da sie darüber entscheidet, wie lange ein Fahrzeug einen Ladepunkt belegt. Ladepunkte mit hoher Frequentierung oder geringer Zeitverfügbarkeit seitens der Nutzer beispielsweise an Schnellstraßen oder innerörtlichen Lade-Hubs sollten daher auch höhere Ladeleistungen bereitstellen. Für Ladepunkte, die mehrere Stunden belegt werden können wie beispiel-

weise an Bahnhöfen für Pendler, im Parkraum für das Alltagsladen oder Nahe der Innenstadt für den Stadtbesuch, reichen geringere Ladeleistungen aus. Die EU Richtlinie 2014/94/EU (EP, 2014) definiert dabei Normal- (<22 kW) und Schnellladen (>44 kW).

In Tabelle 5-4 sind gängige Parameter beim Laden dargestellt. Die Ladung eines Referenz-Kleinwagens mit 41 kWh Batteriekapazität dauert je nach Ladeleistung zwischen 50 min und 15 h.

Aus der Analyse ergeben sich die in Abbildung 5-14 gelb hinterlegten Standorte. Mit Ladesäulen am Bahnhof könnten überregionale Pendler bedient werden. Mit mehreren Schnellladesäulen rund um die Altstadt können Besucher der vielen Geschäfte ihre Fahrzeuge für das Zwischendurchladen während dem Stadtbummel und Erledigungen mit Strom betanken. An der Nordwestseite im Park & Ride Parkhaus „Am Öferl“ sollte die bestehende Ladeinfrastruktur mittelfristig ergänzt werden, um auch für die Besucher des Gewerbegebiets zusätzliche Lademöglichkeiten zu bieten.

Die bereits bewilligten Ladepunkte an der Esso Tankstelle in der Alpenstraße, sowie am Parkplatz „Unterer Graben Nord“ dienen als innerörtliche Lade-Hubs zum Hochleistungsladen und sind sowohl für Nutzer ohne private Lademöglichkeit als auch für das Nachladen von Durchgangsverkehr interessant. Ein weiterer innerörtlicher Lade-Hub könnte an der Eni Tankstelle in der Pütrichstr. entstehen. Auch für Erledigungen im Ort ist der Standort durch seine Nähe zum Ortskern noch geeignet. Weiters sind am Parkplatz „Unterer Graben Süd“, sowie beim Parkplatz an der Ammerschule bereits Ladepunkte zum Normal- und Schnellladen geplant, diese sollten mittelfristig weiter ergänzt werden. Auch eine Stromerzeugung vor Ort mittels PV-Carport auf einem Teil der Parkflächen wäre hier denkbar. Derartige Anlagen stellen eine gute Synergie aus Flächennutzung, Stromerzeugung und Beschattung der Parkflächen dar und strahlen eine positive Außenwirkung aus. Eine beispielhafte Anlage ist in Abbildung 5-13 dargestellt. Zudem sind an der neu errichteten staatlichen Berufsschule Ladestationen geplant.



Abbildung 5-13: Beispiel eines PV-Carports (solar-prinz.de)

Zu den zwei bestehenden öffentlichen Ladepunkten der Firma Elektrotechnik TKS GmbH sollten im Gewerbegebiet Trifthof weitere Schnellladestationen für Geschäftstreibende und Besucher der ansässigen Geschäfte und Freizeitaktivitäten entstehen. Vor Ort wird auf zahlreichen Dächern, sowie auf der südöstlich gelegenen Freiflächenanlage bereits Solarstrom erzeugt.

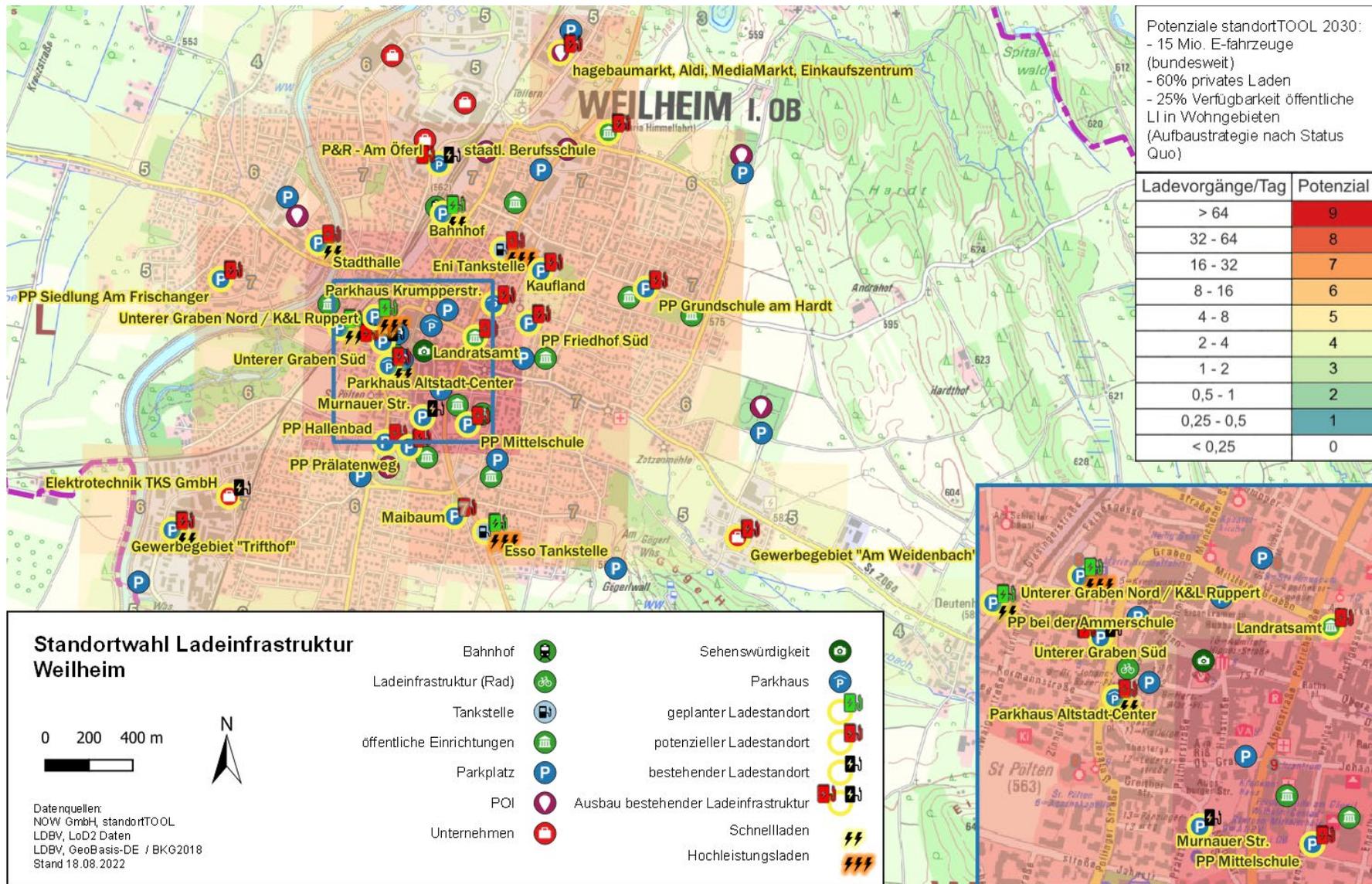


Abbildung 5-14 Identifizierung geeigneter Standorte für Ladepunkte.

Die Verfügbarkeit von Ladepunkten machen auch den Einzelhandel für Kunden attraktiver und so würde sich für das Zwischendurchladen mit hoher Ladeleistung beispielsweise die große Parkfläche beim Einkaufszentrum in der Münchner Straße 63 – 75, sowie beim Kaufland in der Andreas-Schmidtner-Str. empfehlen.

Auch bei der Erschließung von Neubaugebieten können öffentlich zugängliche Lademöglichkeiten gerade bei Mehrfamilienhäusern einen echten Mehrwert für die Bewohner der Anlage bieten. Dies sollte bei den Planungen des Neubaugebiets zwischen Geistbühelstr. Und der Kirche St. Pölten berücksichtigt werden. Eine Ausstattung mit allen für eine Ladefrastruktur nötigen Einrichtungen von neuen Wohn- und Nichtwohngebäuden, sowie größeren Sanierungsprojekten im Bestand ist seit März 2021 im Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz verankert (GEIG, 2021). Alle empfohlenen, bestehenden und geplanten Ladestandorte in Weilheim sind im Detail in Tabelle 5-5 dargestellt.

Tabelle 5-5: Detaillierte Beschreibung möglicher Ladepunkte für Weilheim. Die gängigen Ladebetriebsarten werden in Anhang 4 erläutert.

Name	Adresse	Use-case & Ladeleistung	Nutzungsdauer	Status	Parkflächen	Ladepunkte Ist/Vorschlag	Stromerzeugung vor Ort?
<b>P&amp;R - Am Öferl</b>	Am Öferl 29	3. Arbeitgeber → Normalladen	2-8 h	Ausbauvorschlag	280	2/20	Ja
<b>Parkhaus Altstadt-Center</b>	Herzog-Albrecht-Platz 8	7. Straßenraum → Schnellladen	1-2 h	Vorschlag	318	0/20	Nein
<b>Gewerbegebiet "Trifhof"</b>	Holzhofstraße 19a	6. Kundenpp.. → Schnellladen	1-8 h	Vorschlag	120	0/20	Ja
<b>Parkhaus Krumpperstr.</b>	Krumpperstraße 21	7. Straßenraum → Schnellladen	1-2 h	Vorschlag	200	0/20	Ja
<b>PP bei der Ammerschule</b>	In Der Au 6	3. Arbeitgeber → Normalladen; 7. Straßenraum → Schnellladen	1-8 h	Geplant	140	0/10	Ja
<b>Stadthalle</b>	Wessobrunner Straße	7. Straßenraum → Schnellladen	1-2 h	Vorschlag	95	0/10	Ja
<b>Gewerbegebiet "Am Weidenbach"</b>	Am Weidenbach 3	3. Arbeitgeber → Normalladen	1-8 h	Vorschlag	10	0/10	Ja
<b>Hagebaumarkt, Aldi, MediaMarkt, Einkaufszentrum</b>	Münchener Straße 67	6. Kundenpp.. → Schnellladen	30 min - 1 h	Vorschlag	200	0/10	Nein
<b>PP Siedlung Am Frischanger</b>	Am Frischanger 17	2. Mehrfamilienhaus → Normalladen	8 h	Vorschlag	20	0/10	Nein
<b>PP Mittelschule</b>	Röntgenstraße 9	3. Arbeitgeber → Normalladen	2-8 h	Vorschlag	100	0/10	Ja
<b>Unterer Graben Süd</b>	Unterer Graben 32	7. Straßenraum → Schnellladen	1-8 h	Ausbauvorschlag	66	2/8	Nein
<b>PP Prälatenweg</b>	Prälatenweg 5	7. Straßenraum → Schnellladen	1-2 h	Vorschlag	100	0/5	Nein
<b>PP Friedhof Süd</b>	Am Betberg 2	7. Straßenraum → Schnellladen	30 min- 1 h	Vorschlag	36	0/5	Nein
<b>staatl. Berufsschule</b>	Narbonner Ring 1	3. Arbeitgeber → Normalladen	8 h	Vorschlag		0/5	Ja
<b>Maibaum</b>	Heimgartenstraße 1	7. Straßenraum → Schnellladen	1-2 h	Vorschlag	55	0/4	Nein

<b>PP Hallenbad</b>	Pollinger Straße 14	6. Kundenpp. → Schnellladen	1-4 h	Vorschlag	80	0/4	Nein
<b>Kaufland</b>	Kaltenmoser Straße 28	6. Kundenpp. → Schnellladen	30 min- 1 h	Vorschlag	100	0/4	Nein
<b>PP Grundschule am Hardt</b>	Hardtkapellenstraße 6	3. Arbeitgeber → Normalladen	8 h	Vorschlag	20	0/4	Nein
<b>Unterer Graben Nord / K&amp;L Ruppert</b>	Lohgasse 4	4. Lade-Hub innerorts → Hochleistungsladen	≤ 30 min	Geplant	135	0/2	Nein
<b>Bahnhof</b>	Bahnhofplatz 1	7. Straßenraum → Schnellladen, Normalladen	1-8 h	Planung erweitern 2 bereits bewilligt	20	0/20	Nein
<b>Eni Tankstelle</b>	Pütrichstraße 29	4. Lade-Hub innerorts → Hochleistungsladen	≤ 30 min	Vorschlag	2	0/2	Nein
<b>Eso Tankstelle</b>	Alpenstr. 13	4. Lade-Hub innerorts → Hochleistungsladen	≤ 30 min	Planung erweitern 1 bereits bewilligt	5	0/2	Nein
<b>Bäckerei Grünwald</b>	Murnauer Straße 2	7. Straßenraum → Normalladen	1-8 h	Bestand	2	2/0	Nein
<b>Elektrotechnik TKS GmbH</b>	Holzhofring 14	3. Arbeitgeber; 7. Straßenraum → Normalladen	2-8 h	Bestand	2	2/0	Nein

Nur zwischen 5 und 7 % aller Ladepunkte werden in den Szenarien für 2030 öffentlich zugänglich sein (Windt & Arnhold, 2020), was deutlich macht, wie wichtig es ist, dass BesitzerInnen von Elektrofahrzeugen über die Installationsmöglichkeiten für private Ladepunkte und in diesem Zuge auch die eigene Stromproduktion mit PV-Dachanlagen informiert werden. Dies könnte im Rahmen von Infoveranstaltungen kommuniziert werden und wird auch in Kapitel 5.2.1 angesprochen.

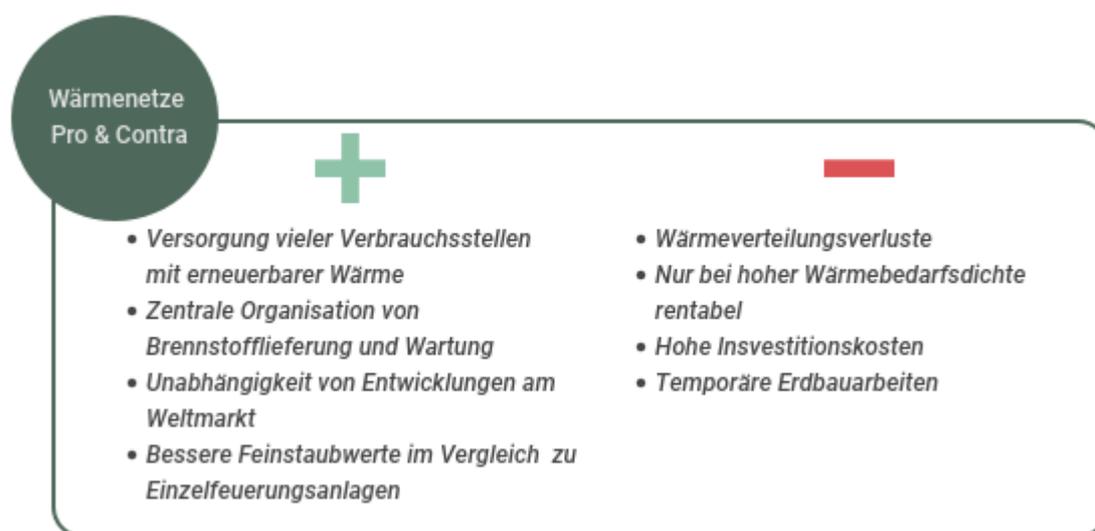
## 5.8 Schwerpunktprojekt Wärmeverbund

### *Wärmenetze als zentraler Baustein der Energiewende*

Aus Sicht der Energiewende sind Wärmeverbundsysteme eine Chance viele Verbrauchsstellen mittels erneuerbarer Energien zu versorgen. Die Realisierung eines Wärmenetzes auf Basis von Holz, welches in der gesamten Region in ausreichenden Mengen vorhanden ist, ist somit stets ein deutlicher Beitrag zum Klimaschutz sowie zum Erreichen der gesetzten Klimaziele. Die Brennstofflieferung und Wartung sind zentral organisiert, sodass ein sehr effizienter Betrieb gewährleistet werden kann. Die geltenden Immissionsschutzgrenzwerte können dank neuester Technologien durch eine zentrale Wärmeversorgung deutlich unterschritten werden und liegen oftmals unterhalb der Staubimmissionen, welche durch holzbefeuerte Einzelfeuerungsanlagen generiert werden. Mit der derzeitigen Umsetzung zahlreicher Nah- und Fernwärmenetze in der gesamten Region ist jedoch die benötigte Menge insgesamt und die langfristige Verfügbarkeit nachhaltig erzeugter Hackschnitzel zu beachten. Mit dem Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpen könnten die Menge der

benötigten Hackschnitzel reduziert werden. Diese speziell für die Beschickung von Wärmenetzen entwickelten Geräte nutzen vorhandene Umweltwärme bei geeigneter Witterung sehr effizient. Bei Außenlufttemperaturen über 8 °C sorgen diese Geräte im Sommerhalbjahr für einige verbrennungsfreie Monate, wodurch sich der Hackschnitzelbedarf deutlich reduzieren lässt. Da sie mit Strom betrieben werden, liegt die Verwendung des vor Ort erzeugten Stroms aus Photovoltaik nahe.

Doch trotz der genannten Vorteile ist die Identifizierung potenziell geeigneter Versorgungsgebiete komplex. Ein entscheidendes Kriterium für eine Gebietsauswahl ist die sogenannte Wärmebedarfsdichte, die den aufsummierten absoluten Wärmebedarf der Gebäude innerhalb einer Fläche beschreibt. Die Wärmebelegungs-dichte wiederum ist definiert als die Wärmemenge, die jährlich pro Meter auf einer Wärmetrasse voraussichtlich abgenommen wird. Dabei gelten 1,5 MWh pro Trassenmeter und Jahr als Anhaltswert, ab dem die Errichtung eines Wärmenetzes in Anbetracht der relativ hohen Investitionskosten in Frage kommt (StMWi 2017b). Je höher die Wärmebelegungs-dichte ist, desto geringer sind die Wärmegestehungs- und -lieferungskosten pro MWh und umso eher ist eine Wettbewerbsfähigkeit gegeben.



## Standortsuche Energiezentrale

Nahezu bei allen größeren Projekten der Energiewende gibt es sehr kontroverse Diskussionen um den Standort erforderlicher Anlagentechnik. Den beteiligten Projektentwicklern oder zukünftigen Betreibern von Anlagen wird in der Regel Gewinnorientierung unterstellt. Von deren Seite vorgestellte Standorte werden oftmals in Frage gestellt. Auch wenn die politischen Entscheidungsgremien Beschlüsse herbeiführen können, ist der Weg zur Umsetzung der Projekte mit zahlreichen Stolpersteinen bestückt.

Bei vergleichbaren Standortsuchen für Energiezentralen im Oberland hat sich das Hinziehen einer externen Prozessbegleitung bewährt.

In einem ersten Schritt wird eine Arbeitsgruppe gegründet, die sich aus Stadträten (möglichst aller Fraktionen), Mitgliedern des Klimabeirats, Vertretern der Bauverwaltung, der Stadtwerke und beispielsweise Vertretern der Landwirtschaft sowie von Umweltverbänden zusammensetzt. Ziel ist es eine offene, vertrauensvolle, durchaus kontroverse aber konstruktive Arbeitsatmosphäre zu schaffen. Im Rahmen eines ersten Workshops werden Kriterien für die Standortsuche festgelegt: benötigte Fläche, Anbindung, Emissionsschutz, Baurecht, Umwelt, Verkehr, Nähe zu möglichen Wärmeabnehmern. Parallel zur Definition der Kriterien, wird eine GIS-Analyse durchgeführt. Es werden alle potenziellen Standorte gesammelt und zusammen mit allen Faktoren, die im Zusammenhang mit der Standortsuche stehen, in eine Karte eingetragen. Diese dadurch entstehende interaktive Karte bietet die Möglichkeit, im Rahmen von Treffen umgehend Faktoren wie beispielsweise Denkmal-, Ensemble-, Natur- und Landschaftsschutz und weitere Aspekte zu prüfen und schnell konsensuale Entscheidungen herbeizuführen.

Sobald die Liste der Kriterien und möglicher Standorte erstellt ist, wird ein abschließender Workshop durchgeführt, der im Rahmen einer Bewertung durch die Mitglieder der Arbeitsgruppe die vorgeschlagenen Standorte in eine Rangliste bringt und in den meisten Fällen einen favorisierten Standort identifiziert.

Durch diese Vorgehensweise werden politische Entscheidungsträger, Verwaltung, mögliche Betreiber, Kommunalunternehmen sowie Verbände früh in den Entscheidungsprozess eingebunden und verschiedene Varianten offen gegenübergestellt. Dadurch ist es möglich bereits im Vorfeld gemeinschaftlich abgestimmte Standorte in die Diskussion der Entscheidungsgremien einzubringen und so den Planungsprozess erheblich erleichtern und zu beschleunigen.

## **5.9 Schwerpunktprojekt Wasserversorgung**

Die Wasserver- und -entsorgung der Stadt Weilheim liegt vollständig im Aufgabenbereich der Stadtwerke Weilheim.

Zwei Tiefbrunnen, zwei Hochbehälter und Brunnenhäuschen sorgen für die Wasserversorgung der Stadt. In den vergangenen Jahren wurden stetig Optimierungsmaßnahmen ermittelt und umgesetzt, sodass der Stromverbrauch reduziert werden konnte (Auskunft durch Stadtwerke Weilheim).

Es erfolgte der Austausch alter Pumpen durch neue effizientere Pumpen, außerdem wurden die Förderzeiten angepasst. Auf dem Dach des Hochbehälters in Marnbach ist eine PV-Anlage installiert, die der Eigenstromversorgung dient. Da sich der zweite Hochbehälter im Erdreich befindet, steht hier kein Dach für die Realisierung einer PV-Anlage zur Verfügung. Die freie Fläche über dem Hochbehälter muss zugänglich bleiben, das nähere Umfeld wird durch den Wald verschattet. Auch die weiteren Brunnenhäuschen eignen sich

nicht für die PV-Nutzung, da die Dachflächen sehr klein sind und diese sich an verschatteten Waldstandorten befinden.

Im Bereich der Wasserversorgung ergibt sich für die Stadt somit derzeit kein Handlungsbedarf.

## **5.10 Schwerpunktprojekt Klärschlamm**

In der Kläranlage Weilheim wird Abwasser in verschiedenen Behandlungsstufen von Schmutz- und Nährstoffen befreit; übrig bleibt der sogenannte Klärschlamm. Seit neuestem wird dieses Material vor Ort entwässert und auf einen Trockensubstanz-Gehalt (TS) von ca. 27 % gebracht.

Der Klärschlamm enthält sämtliche Abfälle aus der Abwasserbehandlung: Es verbleiben neben Schwermetallen auch organische Schadstoffe, wie Arzneimittelrückstände, oder Krankheitserreger, Nanomaterialien und Kunststoffreste. Nicht zuletzt aufgrund dieser Vielzahl an Schadstoffe im Klärschlamm wird das Material nicht mehr direkt landwirtschaftlich genutzt. Heute wird mehr als die Hälfte der kommunalen Klärschlämme in Mono- und Mitverbrennungsanlagen behandelt. Aktuell wird das Material von einem Unternehmer aus Altenstadt abgeholt und verbrannt.

Langfristig könnte das Material verwendet werden, um regenerative Gase zu erzeugen. Die Firma Blueflux Energy aus Peißenberg hat dazu ein Verfahren entwickelt, das neben der Verwertung von Klärschlamm auch weitere Abfallprodukte wie z.B. Bioabfall oder Festmist verarbeiten kann. In der Kläranlage Weilheim fallen jährlich eine Menge von ca. 1.900 Tonnen Klärschlamm an.

Mit einem Hydrolyse-Prozess wird das Material ähnlich wie bei der natürlichen Verkohlung verarbeitet. Diese Technologie benötigt dafür allerdings lediglich 2 Stunden. Zu Beginn des Prozesses wird aus den biogenen Abfallstoffen Kohle und Dampf erzeugt. Beide Produkte werden im Anschluss über weitere Prozessschritte in Wasserstoff umgewandelt (Abbildung 5-15).

Dieser Wasserstoff könnte vor Ort z.B. für die Beladung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen genutzt werden. Zusätzlich entsteht Abwärme, die im geplanten Wärmenetz mit einer Energiezentrale an der Kläranlage hervorragend verwertet werden könnte.

Die Wirtschaftlichkeit der Anlage hängt vorrangig von den zu erzielenden Preisen für den erzeugten Wasserstoff ab. Aktuell wird er vom Hersteller mit 2,- € je kg quantifiziert. Die Anlagentechnik der Fa. Blueflux ist derzeit noch in der Erprobungsphase, eine Markteinführung wird in Kürze erfolgen. In Kombination mit einer direkten Vermarktung der Abwärme in einem Wärmenetz könnte langfristig ein wirtschaftlicher Betrieb der Klärschlammverwertung vor Ort sichergestellt werden.

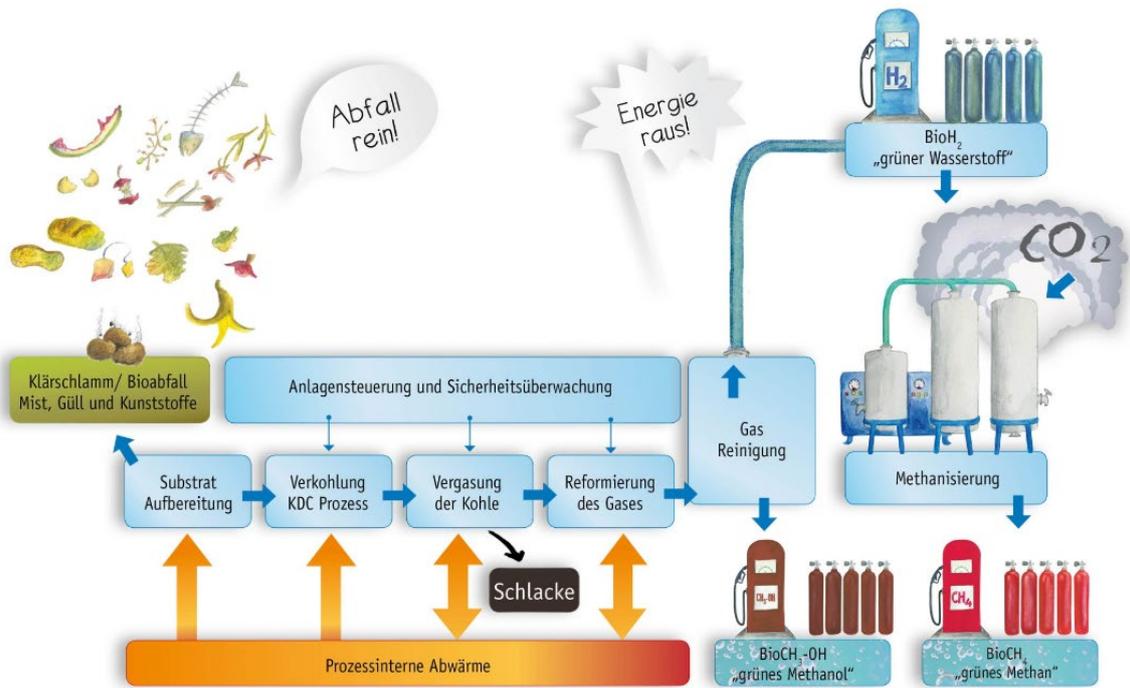


Abbildung 5-15: Prinzip der Wasserstoff-/Methanherstellung der Firma blueFLUX (<https://www.bluefluxenergy.com/>, 2022)

## 5.11 Übersicht der Maßnahmen

Tabelle 5-6: Übersicht aller Maßnahmen.

Maßnahme für	Titel der Maßnahme	Kategorie	Umsetzbarkeit
<b>Stadt Weilheim</b>	Stadtmuseum	Energieeffizienz, Energieerzeugung regen.	mittelfristig
	Straßenbeleuchtung	Energieeffizienz	mittelfristig
	CO2-neutrale Neubaugebiete	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Teilnahme am European Energy Award	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Monitoring des EE-Zubaus	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Besichtigung Schachtwasserkraftwerk	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Vorstellung neue Geothermie-Technologie	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Unternehmertreff "Energieeffizienz"	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
<b>Bürgerinnen und Bürger</b>	Thementag Solar	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Heizungstausch-Offensive	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Thermographie Spaziergang	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
	Dachintegrierte PV-Anlagen / Solardachziegel	sonst. Handlungsmöglichkeiten	kurzfristig
<b>Schwerpunktprojekte</b>	Erneuerbare Energien	Energieerzeugung regenerativ	kurz- /mittelfristig
	Neubauten	Energieerzeugung regenerativ	mittelfristig
	Bestandsgebäude	Energieeffizienz	mittelfristig
	Arealversorgung	Energieerzeugung regenerativ	mittel- /langfristig
	Ladeinfrastruktur	sonst. Handlungsmöglichkeiten	mittelfristig
	Wärmeverbund	Energieerzeugung regenerativ	mittelfristig
	Wasserversorgung	Energieeffizienz	kurzfristig
	Klärschlamm	Energieerzeugung regenerativ	mittel- /langfristig

## 6 Fördermittel und Finanzierung für Energieprojekte

Für die Sanierung von Privatgebäuden stehen attraktive Mittel, sowohl zur Komplettsanierung als auch für Einzelmaßnahmen, zur Verfügung.

Im Folgenden wird eine Auswahl von Programmen im Überblick dargestellt (Stand 15.8.2022). Für die Korrektheit der folgenden Angaben wird keine Gewähr übernommen. Für weitere Details der Förderprogramme und -voraussetzungen verweisen wir an die jeweiligen Förderstellen.

### 6.1 Verbraucherzentrale Bayern

Tabelle 6-1: Energieberatungsangebot der Verbraucherzentrale Bayern.

Leistung	Kosten	Bemerkung
Telefonische Beratung	Kostenfrei	Tel.: 0800 809 802 400
Online-Beratung	Kostenfrei	Onlineformular
Stationäre Beratung	Kostenfrei	Am Landratsamt Weilheim-Schongau
Basis-Check	Kostenfrei	Terminvereinbarung unter Tel. 0800 809 802 400 Beratung am Gebäude vor Ort
Gebäude-Check	30 Euro	
Heiz-Check		
Solarwärme-Check		
Detail-Check		
Aufsuchende PV-Beratung		
Eignungs-Check Heizung		

Die Stadt Weilheim hat bereits 1998 eine kostenlose Energieberatung im Rathaus angeboten. Diese wurde einvernehmlich mit der Eröffnung eines Beratungs-Stützpunkts am Landratsamt Weilheim-Schongau abgelöst. Dort bietet die Verbraucherzentrale seit 2015 eine kostenlose Energieberatung an. Beratungstermine können unter der Tel. 0800 809 802 400 vereinbart werden. Zusätzlich werden auch Energieberatungen im eigenen Haushalt angeboten. Tabelle 6-1 bietet eine Übersicht über die Kosten und Leistungen der Beratungsangebote (Verbraucherzentrale Energieberatung, 2022).

### 6.2 Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG)

Das BEG fasst seit 01.01.2021 die bisherigen Programme CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm, Programm zur Heizungsoptimierung, das Anreizprogramm Energieeffizienz und

das Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt zusammen.

Es ist in drei Teilprogramme aufgeteilt: Wohngebäude (BEG WG), Nichtwohngebäude (BEG NWG) und Einzelmaßnahmen (BEG EM). Antragsberechtigt sind Privatpersonen, Kommunen, Unternehmen und gemeinnützige Einrichtungen. Grundsätzlich ist zu beachten, dass jegliche Förderanträge vor Vorhabensbeginn gestellt werden müssen, lediglich Planungs- und Beratungsleistungen, sowie vorbereitende Maßnahmen (z.B. Abrissarbeiten oder Bodenuntersuchungen) dürfen im Vorhinein getätigt werden. Umfeldmaßnahmen, wie beispielsweise die Entsorgung einer Altheizung sind ebenfalls förderfähig. Auch die Energieeffizienz-Expertinnen und -Experten können mit 50 % bezuschusst werden.

Für die Durchführung der BEG sind die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zuständig. Förderungen in der Kreditvariante für BEG WG, NWG und EM werden bei der KfW beantragt, Zuschüsse für BEG EM bei der BAFA. Für Kommunen können auch bei der KfW Zuschüsse beantragt werden. Tabelle 6-2 gibt eine Übersicht über die Förderungen für Wohngebäude.

Tabelle 6-2: Förderung Sanierung Wohngebäude (<https://www.energie-fachberater.de/news/beg-em-2022-diese-zuschuesse-gibt-es-fuer-einzelmassnahmen.php>)

Maßnahme	BAFA	KfW	Finanzamt
<b>Wärmepumpe</b>	<b>25 bis 30* % Zuschuss</b> (BEG EM) + 10 % Bonus bei Heizungstausch**	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>Biomasseheizung</b>	<b>10 bis 15 % Zuschuss</b> (BEG EM) + 10 % Bonus bei Heizungstausch**	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>EE-Hybridheizung</b>	<b>25 bis 30* % Zuschuss</b> (BEG EM) + 10 % Bonus bei Heizungstausch**	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>EE-Hybridheizung mit Biomasse</b>	<b>20 bis 30*/*** % Zuschuss</b> (BEG EM) + 10 % Bonus bei Heizungstausch**	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>Wärme-/Gebäudenetz</b>	<b>25 % Zuschuss</b> (BEG EM) + 10 % Bonus bei Heizungstausch**	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>Solarthermie</b>	<b>25 % Zuschuss</b> (BEG EM)	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>Heizungsoptimierung</b>	<b>15 % Zuschuss</b> (BEG EM) + 5 % Bonus mit Sanierungsfahrplan	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>Gebäudehülle Dämmung Dach, Fassade, Keller / Fenster / Haustür / Sonnenschutz</b>	<b>15 % Zuschuss</b> (BEG EM) + 5 % Bonus mit Sanierungsfahrplan	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>Anlagentechnik Lüftung / Smart Home</b>	<b>15 % Zuschuss</b> (BEG EM) + 5 % Bonus mit Sanierungsfahrplan	–	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)
<b>Sanierung zum Effizienzhaus</b>	–	<b>Förderkredit, 5 bis 25 % Tilgungszuschuss</b> je nach Effizienzhaus-Standard (BEG Wohngebäude Kredit 261)	<b>20 % Steuerbonus</b> (§ 35c EStG)

Fachplanung und Baubegleitung	50 % Zuschuss (BEG EM)	Förderkredit, 50 % Tilgungszuschuss (BEG Wohngebäude Kredit 261)	50 % Steuerbonus (§ 35c EStG)
Energieberatung / Sanierungsfahrplan	80 % Zuschuss (EBW- Energieberatung Wohngebäude)	-	-
Anlagen zur Stromerzeugung Photovoltaik / Wasser / Wind...	-	Zinsgünstiger Kredit (Erneuerbare Energien Standard 270)	-
Altersgerechter Umbau Einbruchschutz / Barrierefreiheit	-	Zinsgünstiger Kredit (Altersgerecht Umbauen 159)	-
* Inklusive Wärmepumpen-Bonus, wenn Wärmequelle Wasser, Erdreich, Abwasser + 5 % ** Bonus bei Austausch von Öl-, Gas- (> 20 Jahre), Kohle-, Nachtspeicher-Heizungen + 10 % *** Innovations-Bonus bei besonders emissionsarmen Biomasseanlagen + 5 %			

Die von den Stadtwerken Weilheim geplanten Wärmenetze werden überwiegend mit regenerativer Wärme beschickt. Hausbesitzerinnen und Hausbesitzer, die ihr Gebäude an diese Netze anschließen, bekommen über das nachfolgende Programm dafür eine Förderung aktuell in Höhe von 25 % der Investitionskosten, zusätzliche 10 % werden gewährt, wenn fossile Heizanlagen oder Nachtspeicheröfen ersetzt werden. Förderfähig sind folgende **Einzelmaßnahmen (BEG EM)** im Detail:

	Maßnahmen	Umfang der Förderung
<b>Gebäudehülle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dämmung der Gebäudehülle, Erneuerung/ Aufbereitung von Vorhangfassaden</li> <li>• Austausch Fenster, Außentüren und -toren</li> <li>• Sommerlicher Wärmeschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>15 %</b> Fördersatz</li> <li>• <b>5 %</b> individueller Sanierungsfahrplan (iSFP)</li> <li>• WG: Max. 60.000 € pro Wohneinheit und Kalenderjahr</li> <li>• NWG: max. 1.000€/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche &amp; 5 Mio. €/Jahr</li> <li>• Förderfähiges Mindestinvestitionsvolumen: 2.000 €</li> </ul>
<b>Anlagentechnik (außer Heizung)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbau, Austausch oder Optimierung raumlufttechnischer Anlagen inklusive Wärme- / Kälterückgewinnung</li> <li>• Einbau von Mess-, Steuer- und Regelungstechnik zur Realisierung eines Gebäudeautomatisierungsgrades mindestens der Klasse B nach DIN V 18599-11</li> <li>• Kältetechnik zur Raumkühlung</li> <li>• Energieeffizienter Beleuchtungssysteme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>15 %</b> Fördersatz</li> <li>• <b>5 %</b> individueller Sanierungsfahrplan (iSFP)</li> <li>• WG: Max. 60.000 € pro Wohneinheit und Kalenderjahr</li> <li>• NWG: max. 1.000€/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche &amp; 5 Mio. €/Jahr</li> <li>• Förderfähiges Mindestinvestitionsvolumen: 2.000 €</li> </ul>

<b>Wärme- erzeuger</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarkollektoranlagen</li> <li>• Biomasseheizungen</li> <li>• Wärmepumpen</li> <li>• Innovative Heiztechnik auf Basis erneuerbaren Energien</li> <li>• Erneuerbare Energien-Hybridheizungen (EE-Hybride)</li> <li>• Gebäudenetz und Anschluss an ein Gebäudenetz oder Wärmenetz</li> <li>• Maßnahmen zur Visualisierung des Ertrags Erneuerbarer Energien</li> </ul>	Solarthermieanlagen	<b>25 %</b>
		Biomasseheizungen	<b>10 - 15 %</b>
		Wärmepumpen	<b>25 – 30 %</b>
		Erneuerbare Energien-Hybridheizungen	<b>20 – 30 %</b>
		Gebäudenetze und Anschluss an ein Gebäude- oder Wärmenetz	<b>25 %</b>
<p><b>Zusätzlich</b> erhöht sich die Förderung um <b>10 %</b>, wenn eine <b>Öl-, Gas- (&gt;20 Jahre), Kohle- oder Nachtspeicherheizung</b> durch eine der genannten Anlagen ersetzt wird.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• WG: Max. 60.000 € pro Wohneinheit und Kalenderjahr</li> <li>• NWG: max. 1.000€/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche &amp; 5 Mio. €/Jahr</li> <li>• Förderfähiges Mindestinvestitionsvolumen: 2.000 €</li> </ul>			
<b>Heizungs- optimierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage inklusive der Einstellung der Heizkurve</li> <li>• der Austausch von Heizungspumpen sowie der Anpassung der Vorlauftemperatur und der Pumpenleistung</li> <li>• Maßnahmen zur Absenkung der Rücklauftemperatur bei Gebäudenetzen im Sinne der Richtlinien</li> <li>• im Falle einer Wärmepumpe auch die Optimierung der Wärmepumpe</li> <li>• die Dämmung von Rohrleitungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>15 %</b> der förderfähigen Ausgaben</li> <li>• WG: Max. 60.000 € pro Wohneinheit und Kalenderjahr</li> <li>• NWG: max. 15 Mio. € bzw. 1.000 €/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche</li> <li>• Förderfähiges Mindestinvestitionsvolumen: 300 € brutto</li> </ul>	
		<p>Zusätzlicher Förderbonus von <b>5 %</b> möglich bei Umsetzung im Rahmen eines im Programm "Bundesförderung für Energieberatung für Wohngebäude" geförderten individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP).</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Einbau von Flächenheizungen, von Niedertemperaturheizkörpern und von Wärmespeichern im Gebäude oder gebäudenah (auf dem Gebäudgrundstück)</li> <li>• die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik</li> </ul>	
<b>Fachplanung und Baubegleitung</b>	Kann nur im Zusammenhang mit einer Förderung der beschriebenen Einzelmaßnahmen beantragt werden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>50 %</b> der förderfähigen Ausgaben</li> </ul> <b>WG:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• max. 5.000 € pro Kalenderjahr bei Ein- und Zweifamilienhäusern</li> <li>• 2.000€ pro Wohneinheit und Kalenderjahr bei MFH ab 3 Wohneinheiten</li> </ul> <b>NWG:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 €/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche</li> </ul> <p>➔ Insgesamt max. 20.000 € pro Zuwendungsbescheid</p>

### 6.3 Programme für Privatpersonen - KfW-Programm 261

Zur energetischen Sanierung, sowie dem Bau und Kauf von Wohngebäuden bietet die KfW-Bank das Programm 261 (Kredit). Förderfähig ist der Bau und Kauf eines Hauses bzw. einer Eigentumswohnung, wenn die Immobilie die Anforderungen an ein Effizienzhaus 40 mit Nachhaltigkeitsklasse erfüllt. Gefördert werden außerdem Komplettsanierungen zum Effizienzhaus, d. h. alle energetischen Maßnahmen, die zu einer Effizienzhaus-Stufe 85 oder besser führen. Einige Beispiele für förderfähige Maßnahmen sind:

- die Wärmedämmung von Wänden, Dachflächen, Keller- und Geschossdecken
- die Erneuerung der Fenster und Außentüren
- die Erneuerung oder Optimierung der Heizungsanlage
- die Erneuerung, der Einbau einer Lüftungsanlage

Damit diese Maßnahmen förderfähig sind, müssen bestimmte technische Mindestanforderungen erfüllt werden. Zusätzlich werden Baunebenkosten, Wiederherstellungskosten, Beratungs-, Planungs- und Baubegleitungsleistungen, sowie die Nachhaltigkeitszertifizierung gefördert. Für die Sanierung zum KfW-Effizienzhaus ist dies zinsgünstig, da es unter dem Marktniveau liegt. Das KfW-Programm kann von jedem in Anspruch genommen werden, der Wohnraum energetisch saniert oder sanierten Wohnraum kaufen möchte (bei gesonderter Auflistung der energetischen Sanierungsmaßnahmen).

KfW-Programm  
261 -Umfang  
der Förderung

- *Bis 150.000 € Kredit für jede Wohneinheit bei der Komplett-sanierung zum Effizienzhaus*
- *Bis 37.500 € Tilgungszuschuss (25 %)*
- *0,01 % bis 1,05 % effektiver Jahreszins*

## 6.4 Programme für Unternehmen

Im gewerblichen Bereich gelten andere Förderprogramme. Für die Förderung von Energieeffizienz und Umweltschutz gibt es folgende Energieeffizienzprogramme:

- Nichtwohngebäude – Kredit (KfW-Programm 263)
- Förderung klimafreundlicher Aktivitäten (klimafreundliche Produktionsanlagen, Energieversorgung, Technologien, etc.; KfW-Programm 293)
- Investitionskredit Nachhaltige Mobilität (KfW-Programm 268, 269)
- Energieeffizienz in der Wirtschaft (KfW-Programm 295, 292). Zu den gleichen Förderbedingungen stellt die KfW-Bank einen Kredit bzw. das BAFA einen Investitionskostenzuschuss zur Verfügung.
- Zuschuss Brennstoffzelle (KfW-Programm 433)

Weitere Kredite für die Investitionen in erneuerbare Energien und Umwelt sind auf der Website der KfW zu finden.

Das BAFA fördert die Energieberatung im Sinne der EU-Energieeffizienzrichtlinie für kleine und mittlere Unternehmen, welche die KMU-Kriterien der EU erfüllen (weniger als 250 Mitarbeiter, weniger als 50 Mio. € Jahresumsatz).

- Modul 1: Energieaudit (gem. DIN EN 16247): Erfassung des Energieverbrauchsprofils von Gebäuden, Betriebsabläufen oder Anlagen und Ermittlung von Einsparpotenzialen
- Modul 2: Energieberatung (gem. DIN V 18599): Im Bestand und Neubau zur Energieeinsparung, Erhöhung der Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien
- Modul 3: Contracting-Orientierungsberatung: für Contracting-Modelle mit vertraglicher Einspargarantie.

Energieberatung  
Mittelstand -  
Umfang der För-  
derung

- *Unternehmen mit jährlichen Energiekosten > 10.000 €:  
Zuschuss von max. 80 % der förderfähigen Netto-  
Beratungskosten, max. 6.000 €*
- *Unternehmen mit jährlichen Energiekosten < 10.000 €:  
Zuschuss von max. 80 % der förderfähigen Netto-  
Beratungskosten, max. 1.200 €*

## 6.5 KfW-Programme 439 & 441 Ladestationen für Elektrofahrzeuge

Der Ausbau von öffentlichen und kommunalen Ladestationen für Elektroverbraucher wird im Zusammenhang mit der Qualität der entstehenden Ladeinfrastruktur eine entscheidende Rolle über den Erfolg der Elektromobilität spielen.

Von der KfW-Bank werden Förderungen zum Bau dieser Ladestationen in den Programmen 439 (Förderung für Kommunen) und 441 (Förderungen für Unternehmen) bereitgestellt.

### Programm 439 - Kommunen

KfW-Programm  
439-Das Wich-  
tigste in Kürze

- *Zuschuss von bis zu 900 Euro pro Ladepunkt*
- *Für Ladestationen an Stellplätzen ohne öffentlichen Zugang*
- *Mindestzuschussbetrag 9.000 Euro, Mindestanzahl 10 Ladepunkte*
- *Zuschuss beträgt 70 % der förderfähigen Gesamtkosten. Die Gesamtkosten müssen mind. 12.857,14 Euro betragen*

Mit dem Zuschuss für Kommunen wird der Kauf und die Installation von Ladestationen an Stellplätzen gefördert, die nur für Beschäftigte der Kommunen zugänglich sind. Aufgeladen werden können kommunal genutzte Fahrzeuge sowie privat genutzte Fahrzeuge der Beschäftigten. Gefördert wird der Kaufpreis einer neuen Ladestation mit maximal 22 kW Ladeleistung pro Ladepunkt, inklusive Batteriespeicher. Die Kosten für den Einbau und Netzanschluss der Ladestation, inklusive aller Installationsarbeiten werden ebenfalls gefördert. Das Programm 439 kann von Kommunen, Landkreisen und kommunale Zweckverbände beansprucht werden.

### Programm 441 – Unternehmen

Mit dem Zuschuss für Ladestationen für Elektrofahrzeuge von Unternehmen wird der Kauf und die Installation von Ladestationen an Stellplätzen, die nicht öffentlich zugänglich sind, gefördert. An den Stationen können Firmenfahrzeuge sowie Privatfahrzeuge der Beschäftigten aufgeladen werden. Es kommen Ladestationen mit einer Ladeleistung von bis zu 22

kW und einer intelligenten Steuerung in Frage. Neben dem Einbau und dem Anschluss der Ladestation fallen Energiemanagement-Systeme zur Steuerung der Ladestation ebenfalls in die förderbaren Elemente. Das Förderprogramm 441 kann von Unternehmen, Einzelunternehmer, freiberuflich Tätigenden, kommunalen Unternehmen, Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts sowie gemeinnützigen Organisationen einschließlich der Kirche, beansprucht werden. Wenn die Ladestation mehrere Ladepunkte hat, können pro Ladepunkt 900 Euro Zuschuss ausgezahlt werden, vorausgesetzt die Gesamtkosten liegen über 1285,71 Euro pro Ladepunkt. Ansonsten wird der Zuschuss auf 70 % der Gesamtkosten reduziert. Die maximale Zuschusshöhe beträgt 45.000 Euro je Standort.

KfW-Programm  
441-Das Wichtigste in Kürze

- *Zuschuss von bis zu 900 Euro pro Ladepunkt*
- *Für Ladestationen an Stellplätzen ohne öffentlichen Zugang*
- *Zum Aufladen von Firmenfahrzeugen und Privatfahrzeugen von Beschäftigten*
- *Maximale Zuschusshöhe beträgt 45.000 Euro je Standort*
- *Die Gesamtkosten müssen mind. 1.285,71 Euro betragen*

## 6.6 Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)

Kurz vor Ende der Bearbeitungsfrist dieses Energienutzungsplans wurde das lang erwartete Förderprogramm veröffentlicht. Es wird für die Finanzierung der geplanten Wärmenetze im Stadtgebiet eine entscheidende Rolle spielen. Folgende drei Module werden gefördert:

Im Modul 1 werden u.a. Machbarkeitsstudien zur Errichtung neuer Wärmenetze mit einem Anteil erneuerbarer und klimaneutraler Wärme von mindestens 75 % mit bis zu 50 % der förderfähigen Kosten bis zu einem Maximalbetrag von 600.000 € gefördert. Die erforderlichen Planungen in den Leistungsphasen 1-4 der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) können zum Teil über dieses Modul gefördert werden.

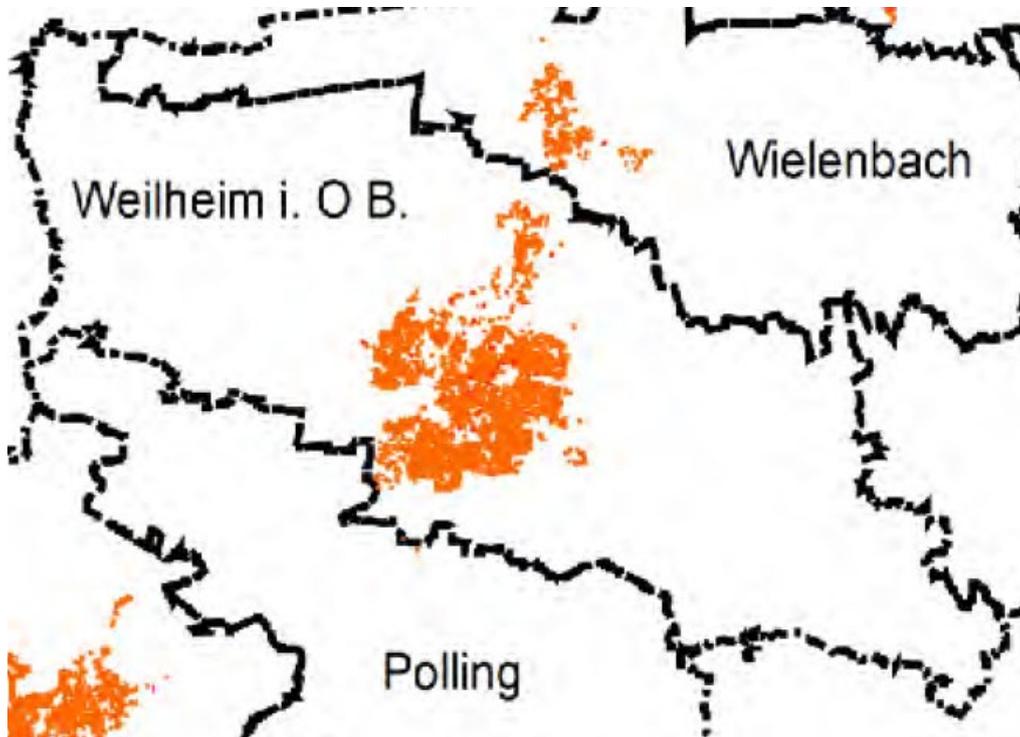
Das Modul 2 fördert die Errichtung von Fernwärmenetzen, die einen regenerativen Anteil von mindestens 75% nachweisen können. Zuschüsse können in Form einer Investitions- oder Betriebskostenförderung gewährt werden. Betriebskostenförderung bekommen jedoch nur Solarthermieanlagen (2 ct/kWh) und Wärmepumpen (7 ct/kWh bzw. 3 ct/kWh, abhängig von der JAZ) kommen. Diese wird über zehn Jahre gewährt.

Zusätzlich sind auch Wärmespeicher förderfähig sowie andere Komponenten zur Optimierung des Netzbetriebs. Die förderfähigen Kosten werden mit 40 % bis zu einer Höhe von 50 Mio. Euro bezuschusst.

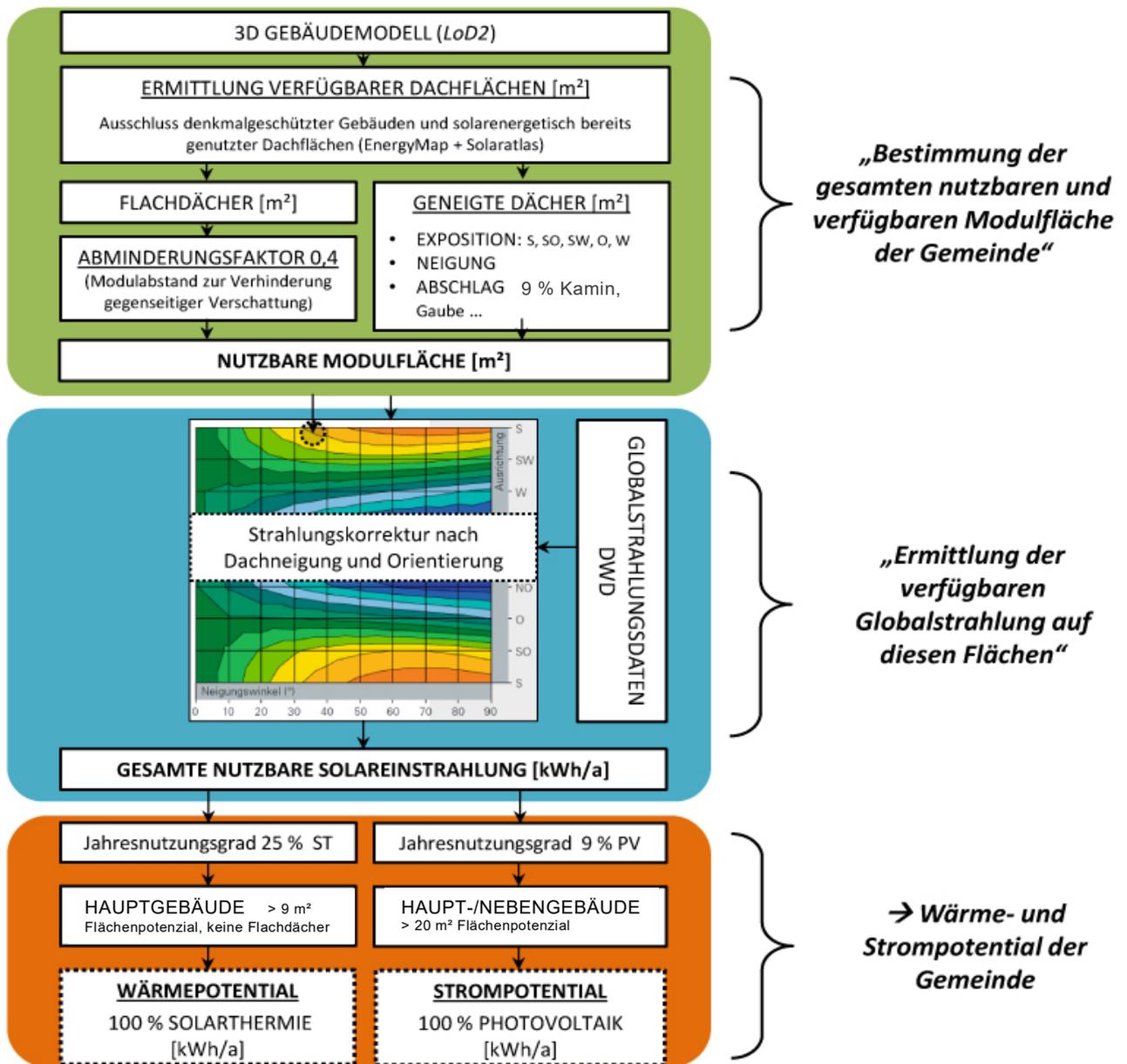
Vom Modul 3 können im wesentlichen Betreiber bestehender Wärmenetze profitieren. Dort werden die Errichtung und Integration von regenerativen Wärmequellen gefördert.

## 7 Anhang

Anhang 1: Anschlussverteilung des Gasleitungsnetzes in Weilheim (Energienetze Bayern GmbH & Co. KG, 2021).



Anhang 2: Durchgeführte Arbeitsschritte zur Ermittlung des solarenergetischen Potenzials in der Stadt Weilheim.



Anhang 3: Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach VDI 2067 mit PVSol: Parameter (Fraunhofer ISE, 2017).

<b>Parameter</b>	<b>Wert</b>
<b>Anfangsdegradation</b>	2 % zzgl. jährliche Degradation 0,5 %
<b>Optimale Ausrichtung der Fläche</b>	Süd 30°
<b>Performance Ratio</b>	je nach Verschattung vom Tool berechnet
<b>Jährliche Kosten</b>	1 % des Systemanlagenpreises
<b>Nutzungsdauer</b>	20 Jahre
<b>Inflationsrate/Preissteigerungen</b>	2 %
<b>nominaler kalkulatorischer Zinssatz</b>	3 %
<b>Strombezugspreis</b>	Arbeitspreis: 0,31 €/kWh
<b>EEG-Vergütung (EEG 2023)</b>	Überschusseinspeisung: 0,082 €/kWh (< 10 kW <sub>p</sub> ), 0,071 €/kWh (< 40 kW <sub>p</sub> ), 0,058 €/kWh (< 750 kW <sub>p</sub> ) Volleinspeisung: 0,13 €/kWh (< 10 kW <sub>p</sub> ), 0,109 €/kWh (< 100 kW <sub>p</sub> ), 0,09 €/kWh (< 300 kW <sub>p</sub> ), 0,077 €/kWh (<1.000kW <sub>p</sub> )
<b>Zeitpunkt der Inbetriebnahme</b>	01.03.2023
<b>Systemkosten</b>	<10 kW <sub>p</sub> 1.800 €/kW <sub>p</sub> 10 – 30 kW <sub>p</sub> 1.500 €/kW <sub>p</sub> 30 – 100 kW <sub>p</sub> 1.200 €/kW <sub>p</sub> >100 kW <sub>p</sub> 1.000 €/kW <sub>p</sub>

## Anhang 4: Ladebetriebsarten nach DIN EN IEC 61851-1:2019-12 (2019; DKE et al., 2021)

Ladebetriebsart	Beschreibung	Ladeleistung
<p><b>1</b></p> 	<p>Verfahren, bei dem ein Elektrofahrzeug mittels Leitung und Stecker an eine Normsteckdose eines Wechselstromnetzes angeschlossen wird, wobei weder Fahrzeug noch Steckdose mit zusätzlichen Pilot- oder Hilfskontakten ausgestattet sind</p> <p>→ Nicht zu empfehlen mangels Fehlerstrom Schutzerkennung</p>	<p>AC</p> <p>&lt; 11 kW</p>
<p><b>2</b></p> 	<p>Verfahren, bei dem ein Elektrofahrzeug mittels einer Wechselstrom-Versorgungseinrichtung für Elektrofahrzeuge mit Leitung und Stecker an eine Normsteckdose eines Wechselstromnetzes angeschlossen wird, wobei eine Pilotleiterfunktion vorhanden ist und ein System zum Schutz von Personen gegen elektrischen Schlag zwischen dem Normstecker und dem Elektrofahrzeug eingefügt wird.</p> <p>→ Ladung an Haushaltssteckdose/Industriesteckdose mit zusätzlicher Steuer- &amp; Schutzeinrichtung</p>	<p>AC</p> <p>&lt; 3 kW</p>
<p><b>3</b></p> 	<p>Verfahren, bei dem ein Elektrofahrzeug an eine Wechselstrom-Versorgungseinrichtung für Elektrofahrzeuge angeschlossen wird, die fest mit einem Wechselstromnetz verbunden ist, und bei dem eine Pilotleiterfunktion zwischen der Wechselstrom-Versorgungseinrichtung und dem Elektrofahrzeug vorhanden ist</p> <p>→ klassische Wallbox</p>	<p>AC</p> <p>1- oder 3-phasig</p> <p>&lt; 44 kW</p>
<p><b>4</b></p> 	<p>Verfahren, bei dem ein Elektrofahrzeug mittels einer Gleichstrom-Versorgungseinrichtung für Elektrofahrzeuge an ein Wechsel- oder Gleichstromnetz angeschlossen wird, und bei dem eine Pilotleiterfunktion zwischen der Gleichstrom-Versorgungseinrichtung und dem Elektrofahrzeug vorhanden ist.</p> <p>→ Schnellladen z.B. Am Ladehub</p>	<p>DC</p> <p>&lt; 450 kW</p>

## 8 Literaturverzeichnis

- Baunetz Wissen. (2022). Geothermie. Glossar. [www.baunetzwissen.de/glossar/g/geothermie-49409](http://www.baunetzwissen.de/glossar/g/geothermie-49409)
- Bayernwerk. (2019a). Einspeiser-Daten—Landkreis Weilheim.
- Bayernwerk. (2019b). Netzabsatz-Daten Strom—Landkreis Weilheim.
- Bayernwerk. (2020). Einspeiser-Daten—Landkreis Weilheim.
- Biogas Forum Bayern. (2017). Plattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern. [www.biogas-forum-bayern.de](http://www.biogas-forum-bayern.de)
- BSW. (2022). *Solaratlas*. [solaratlas.de](http://solaratlas.de)
- Bundesregierung, D. (2019). Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung. *Ziele und Maßnahmen für den Ladeinfrastrukturaufbau bis, 2030*.
- Bundesregierung, D. (2022). Masterplan Ladeinfrastruktur II - 1. Regierungsentwurf.
- BWE. (2013). Kleinwindanlagen—Handbuch der Technik, Genehmigung und Wirtschaftlichkeit kleiner Windräder.
- dena. (2015). Energiesparen und Energieeffizienz im Haushalt.
- DIN EN IEC 61851-1 VDE 0122-1:2019-12 Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge Teil 1: Allgemeine Anforderungen. (2019). Beuth Verlag GmbH. <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iec-61851-1/312355027>
- DIN SPEC 91433:2020-08, Leitfaden zur Suchraum- und Standortidentifizierung sowie Empfehlungen für Melde- und Genehmigungsverfahren in der Ladeinfrastrukturplanung. (2020). Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/3184115>
- DKE, VDE FNN, BDEW, VDA, ZVEH, & ZVEI. (2021). *Technischer Leitfaden—Ladeinfrastruktur Elektromobilität* (Technischer Leitfaden Version 4). Deutsche Kommission Elektrotechnik, Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE, Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e. V., Verband der Automobilindustrie e. V., Zentralverband der Deutschen Elektround Informationstechnischen Handwerke, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.
- DWD. (2017). German Global Radiation Grids.
- DWD. (2022a). Jahresmittel der Stationsmessungen der Lufttemperatur in 2 m Höhe in °C für Deutschland—Station Hohenpeißenberg—1950-2020. <https://cdc.dwd.de/portal/>
- DWD. (2022b). Jahressumme der Stationsmessungen der Sonnenscheindauer in Stunden für Deutschland—Station Hohenpeißenberg—1950-2020. <https://cdc.dwd.de/portal/>
- EED. (2018). RICHTLINIE (EU) 2018/2002 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RA-TES vom 11. Dezember 2018 zur Änderung der Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz.
- EEG. (2023). Erneuerbare-Energien-Gesetz, Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Drucksache 20/1630 vom 2.5.2022, im Bundestag beschlossen am 7.7.2022.
- Emeis, S. (2022). KARE. Klimawandelanpassung auf regionaler Ebene: Ansteigende Starkregenrisiken am Beispiel des bayerischen Oberlands.
- Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 Stadt Weilheim. (2022).
- Energienetze Bayern GmbH & Co. KG. (2021). *Schematische Darstellung der Anschlussverteilung je Gemeindeim Netzgebiet der Energienetze Bayern GmbH & Co. KG*.

- [https://www.energienetze-bayern.de/fileadmin/user\\_upload/content/Netz/1.3\\_Anschlussverteilung\\_je\\_Gemeinde\\_2021-01-01.pdf](https://www.energienetze-bayern.de/fileadmin/user_upload/content/Netz/1.3_Anschlussverteilung_je_Gemeinde_2021-01-01.pdf)
- EP. (2014). *RICHTLINIE 2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe* (S. 20). Europäisches Parlament und Europäischer Rat. [eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=ES](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=ES)
- FNR. (2014). Basisdaten Bioenergie Deutschland.
- GEIG. (2021). *Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz* (BGBl. I S. 354). [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&jumpTo=bgbl121s0354.pdf#\\_bgbl\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl121s0354.pdf%27%5D\\_\\_1660816812646](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl121s0354.pdf#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s0354.pdf%27%5D__1660816812646)
- GEMIS 4.94. (2019). <https://iinas.org/downloads/>
- Hähnlein, S., Blum, P., & Bayer, P. (2011). Oberflächennahe Geothermie – aktuelle rechtliche Situation in Deutschland. *Grundwasser*, 16(2), 69–75. <https://doi.org/10.1007/s00767-011-0162-0>
- Halmbacher, V., Deingruber, S., Mayer, B., Baumann, C., & von Streit, A. (2018). Energieeffizienz und Klimaschutz in der Bauleitplanung—Eine Zusammenstellung für den Lkr. Miesbach—Handlungsempfehlung für die Gemeinden. INOLA.
- Hofer, V., Süß, A., Prasch, M., Reinhardt, J., Mayer, W., & Mauser, W. (2016). *Potenzialanalyse für Energien der Region „Energiewende Oberland“*. INOLA.
- <https://www.bluefluxenergy.com/>. (2022, August 23). <https://www.bluefluxenergy.com/>
- Ingenieurbüro S. Sendl. (2022). *Wärmekataster Stadt Weilheim*.
- INOLA. (2019). <https://inola-region.de/>
- Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. (2010). *Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien*.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Wiese, A. (2013). *Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte* (5. Aufl.). Springer.
- LfStat. (2021a). *Agrarstrukturerhebung (Viehählung)*. <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online>
- LfStat. (2021b). *Bevölkerung: Gemeinde, Altersgruppen*. <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online>
- LfStat. (2021c). *Demographiespiegel: Bevölkerungsvorausberechnung*. <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/>
- LfStat. (2021d). *Fläche: Gemeinde, Fläche (ALKIS), Art der tatsächlichen Nutzung*. <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online>
- LfStat. (2021e). *Gebäude- und Wohnungsbestand: Gemeinde, Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche, Stichtage*. <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online>
- LfStat. (2021f). *Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte: Gemeinden, Beschäftigte am Arbeitsort/Beschäftigte am Wohnort*. <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online>
- LfU. (2019). Neubaupotenzial an bestehenden Querbauwerken -Energieatlas Bayern.
- LfU. (2020). *Oberflächennahe Geothermie*. [https://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/geothermie\\_oberflaechennah/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/geothermie_oberflaechennah/index.htm)
- LfU. (2022a). *Energieatlas Bayern*. <https://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?wicket-crypt=cxIXKEIFXzg>

- LfU. (2022b). *Energieatlas Bayern—Solarenergie Potenzial*. [https://www.karten.energieatlas.bayern.de/start/?wicket-crypt=cxIXKEIFXzg&lang=de&topic=energie\\_gesamt&bgLayer=atkis&catalogNodes=1200,1220,46&layers=4a204108-1905-45a4-a119-4d1553058864](https://www.karten.energieatlas.bayern.de/start/?wicket-crypt=cxIXKEIFXzg&lang=de&topic=energie_gesamt&bgLayer=atkis&catalogNodes=1200,1220,46&layers=4a204108-1905-45a4-a119-4d1553058864)
- Nemeth, I., Elbel, K., Hoppe, M., Lindauer, M., Schneider, P., & Windeknecht, M. (2012). *Energetische Gebäudesanierung in Bayern*.
- NOW GmbH. (2022). *Ladebedarfe bis 2030*. standortTOOL. <https://www.standort-tool.de/strom/ladebedarfe/>
- Rothe, A., Wittkopf, S., & Willnhammer, M. (2013). Energieholzprognose für den Privat- und Körperschaftswald im Landkreis Weilheim-Schongau.
- StMUG, StMWIVT, & OBB. (2011). *Leitfaden Energienutzungsplan*.
- Strohm, K., Schweinle, J., Liesebach, M., Osterburg, B., Rödl, A., Baum, S., Nieberg, H., Bolte, A., & Walter, K. (2012). *Kurzumtriebsplantagen aus ökologischer und ökonomischer Sicht*. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie.
- UBA. (2017). Stromsparen: Weniger Kosten, weniger Kraftwerke, weniger CO2 Fakten und Argumente für das Handeln auf der Verbraucherseite.
- Verbraucherzentrale Energieberatung. (2022). *Sparen Sie Energie – mit der passenden Energieberatung!* Energie effizient nutzen - Geld sparen. <https://verbraucherzentrale-energieberatung.de/beratung/>
- Verein Deutscher Ingenieure. (2017). *VDI 2067*.
- Wasserkraftwerk Großweil GmbH. (2015). *Steckbrief Schachtkraftwerk Großweil an der Loisach*. <https://docplayer.org/68333469-Steckbrief-schachtkraftwerk-grossweil-an-der-loisach.html>
- Windt, A., & Arnhold, O. (2020). Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf. *Studie im Auftrag des BMVI*.