

KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG

DER GEMEINDE ANDECHS

Juni 2026

Kommunale Wärmeplanung

Gemeinde Andechs

Andechser Straße 16

82346 Andechs-Erling

Impressum

Büro für die Energiewende
BFDE GmbH
Mühlenstr. 3
D-82407 Wilzhofen

+49.881.12124367
+49.177.5446491
www.bfde.de

Sitz der Gesellschaft: Wilzhofen
Handelsregister B München
Registernummer: HRB 263518
Geschäftsführung: Dr. Andreas Jordan

Autoren: Andrea Jordan (M.Sc.TUM, Graduada UNED), Dr. Andreas Jordan

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

NATIONALE KLIMASCHUTZ INITIATIVE

Bildnachweis Titelbild

Von File:Erling+Andechs v nördl Friedenskapelle.jpg: Ricardalovesmonumentsderivative work: Georgfotoart - Diese Datei wurde von diesem Werk abgeleitet: Erling+Andechs v nördl Friedenskapelle.jpg:, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=153026485

Sprache

Zum Zweck der besseren Lesbarkeit wird im Bericht die Sprachform des generischen Maskulinums verwendet. Diese Sprachform ist geschlechtsneutral zu verstehen und schließt alle Geschlechter gleichermaßen ein.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung 8

2. Ausgangslage 9

2.1. Anlass 9

2.2. Geographische und demographische Grundlagen 9

3. Methodik, Datengrundlagen und Akteursbeteiligung 13

4. Grundlegende Einordnung in Teilgebiete 15

5. Bestandsanalyse 16

5.1. Energie- und Treibhausgasbilanz 16

5.2. Wärmebedarfe in Abhängigkeit der Gebäude- und Siedlungsstruktur 20

5.3. Energieinfrastruktur 24

5.3.1. Leitungsgebundene Infrastruktur 24

5.3.2. Wärmeerzeugungsanlagen 26

5.3.3. Geothermische & hydrothermische Anlagen 27

5.3.4. Stromerzeugungsanlagen 29

5.3.4.1. Photovoltaikanlagen 29

5.3.4.2. KWK-Anlagen 30

5.3.4.3. Sonstige Stromerzeugungsanlagen 31

5.3.5. Sonderfall industrieller Großverbraucher 31

5.3.6. Sonstige Energieinfrastruktur 31

5.4. Räumliche Verteilungen und Wärmekataster 31

5.4.1. Dominierende Art der Wärmeversorgung 31

5.4.2. Wärmedichte 33

5.4.3. Wärmeliniendichte 37

5.4.4. Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands 39

5.4.5. Vorherrschende Baualterklassen 41

6. Potenzialanalyse 43

6.1. Wärmebedarfsreduktion 44

6.2. Lokal verfügbare erneuerbare Energiequellen 49

6.2.1. Mit Wärmepumpen erschließbare Wärmepotenziale 50

6.2.1.1. Luft 52

6.2.1.2. Oberflächennahe Geothermie 53

a) Erdwärmekollektoren mit Sole-Wasser-Wärmepumpen 53

b) Erdwärmesonden mit Sole-Wasser-Wärmepumpen 54

c) Grundwasser-Wärmepumpen mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen 58

d) Sonderformen der oberflächennahen Geothermie 62

6.2.1.3. Hydrothermie 63

6.2.1.4. Abwasser und Abwärme 63

6.2.2. Tiefe und mittlere Geothermie 66

6.2.3. Biomasse 68

6.2.3.1. Energieholz 68

6.2.3.2. Biogas 69

6.2.4. Solarstrahlung 70

6.2.4.1. Freiflächen 71

6.2.4.2. Dachflächen 73

6.2.5. Großwärmespeicher 73

6.2.6. Grüner Wasserstoff 74

6.3. Transformation des Gasnetzes 74

7. Eignungsgebiete und Zielszenarien 77

7.1. Vergleichende Bewertung konkreter Versorgungssysteme 77
7.1.1. Ökologische Kennwerte 79
7.1.2. Vollkostenvergleich 82
7.2. Einteilung in grundsätzliche Eignungsgebiete 86
7.3. Zielszenarien 89
8. Handlungsstrategie 95
8.1. Maßnahmenkatalog 95
8.1.1. Erneuerbare Wärmenetze 95
8.1.1.1. Erling: Achse Molkerei / Dorfmitte / Kloster 95
8.1.1.2. Frieding: Vom nördlichen Gewerbegebiet ins Ortszentrum 98
8.1.2. Dezentrale Umstellung auf erneuerbare Wärmeversorgungslösungen 100
8.1.2.1. Tage der offenen Heizungstüre 100
8.1.2.2. Einrichtung von Beratungs- und Informationsangeboten für Bürger 100
8.1.2.3. Aufbau kommunaler Förderprogramme 101
8.1.3. Sanierung, Professionalisierung, Effizienzsteigerung 101
8.1.3.1. Optimierung der Heizungsregelung 101
8.1.3.2. Optimierung der Hydraulik 102
8.1.3.3. Thermographie-Aktionen 102
8.1.3.4. Kommunales Energiemanagement 103
8.1.3.5. Hausmeister-Schulung 103
8.2. Kommunikation und Verstetigung 104
8.2.1. Kommunikationsstrategie 104
8.2.2. Verstetigungsstrategie 105
8.2.3. Controlling-Konzept 106
9. Fördermittel 108
9.1. Verbraucherzentrale Bayern 108
9.2. Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) 108
9.3. KfW-Programm 261 (Wohngebäude-Kredit) 110
9.4. KfW-Programm 270 (Erneuerbare Energien - Standard) 110
9.5. Programme für Unternehmen 110
9.6. Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) 111
9.7. BioWärme Bayern 111
9.8. LfA Förderbank Bayern - Energie-und Umweltprogramme 112
10. Verzeichnisse 113
10.1. Literatur 113
10.2. Anhänge 114

Abbildungsverzeichnis

Nr	Abbildung	Seite
1	Geographische Lage Andechs	10
2	Bevölkerungsentwicklung	11
3	Wohnflächenentwicklung pro Person	11
4	Aktuelle Flächennutzung	12
5	Wärmenetzeignung gemäß Kurzgutachten StMWi Bayern Stand November 2025	15
6	Jährlicher Endenergieverbrach nach Energieträgern	16
7	Jährlicher Endenergieverbrach nach Energieträgern (ohne industrielle Großverbraucher)	16
8	Jährlicher Endenergieverbrauch nach Sektoren	17
9	Jährlicher Endenergieverbrauch nach Gebäudetyp	17
10	Nutzenergieverbrauch nach Heizarten	18
11	Nutzenergieverbrauch nach Heizarten (ohne Industrie)	18
12	Aufteilung von Arten fester Biomasse	19
13	Treibhausgasemissionen nach Endenegieträgern	20
14	Treibhausgasemissionen nach Endenegieträgern (ohne Großverbraucher)	20
15	Verteilung des Gebäudebestands nach Sektoren	21
16	Verteilung des Gebäudebestands nach Gebäudealtersklassen	21
17	Gebäudebestand nach Sektoren und Gebäudealtersklassen	22
18	Gebäudealtersklassen und typische flächenspezifische Heizenergieverbräuche	22
19	Nutzwärmebedarf nach Baualtersklassen	23
20	Erdgasnetz in Erling	25
21	Verteilung von Zentralheizanlagen	27
22	Bohrdaten im Gemeindegebiet Erling	28
23	Bohrdaten im Gemeindegebiet Frieding	28
24	Bohrdaten im Gemeindegebiet Machtlfing	29
25	Dominierende Versorgungsart nach Baublöcken in Erling und Rothenfeld	32
26	Dominierende Versorgungsart nach Baublöcken in Frieding	32
27	Dominierende Versorgungsart nach Baublöcken in Machtlfing	33
28	Wärmedichte in 100 x 100 m Raster (MWh/ha) in Erling und Rothenfeld	34
29	Wärmedichte in 100 x 100 m Raster (MWh/ha) in Frieding	34
30	Wärmedichte in 100 x 100 m Raster (MWh/ha) in Machtlfing	35
31	Wärmedichte auf Baublockebene (in MWh/ha) im Gemeindegebiet Andechs und Rothenfeld	35
32	Wärmedichte auf Baublockebene (in MWh/ha) im Gemeindegebiet Frieding	36
33	Wärmedichte auf Baublockebene (in MWh/ha) im Gemeindegebiet Machtfling	36
34	Wärmeliniendichte im Gemeindeteil Erling und Rothenfeld	37
35	Wärmeliniendichte im Gemeindeteil Frieding	38
36	Wärmeliniendichte im Gemeindeteil Machtlfing	38
37	Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands nach Sektoren in den Gemeindegebieten Erling und Rothenfeld	39
38	Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands nach Sektoren im Gemeindegebiet Frieding	40
39	Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands nach Sektoren im Gemeindegebiet Machtlfing	40

Nr	Abbildung	Seite
40	Baualtersklassen in den Gemeindegebieten Erling und Rothenfeld	41
41	Baualtersklassen im Gemeindegebiet Frieding	42
42	Baualtersklassen im Gemeindegebiet Machtfling	42
43	Betrachtungsebenen von Energiepotenzialen	43
44	Wärmebedarfsreduktionspfade	45
45	Wärmeeinsparpotenzial durch Sanierung im Gemeindegebiet Erling und Rothenfeld 2045 gegenüber 2023 nach konservativem Szenario in Prozent	46
46	Wärmeeinsparpotenzial durch Sanierung im Gemeindegebiet Frieding 2045 gegenüber 2023 nach konservativem Szenario in Prozent	46
47	Wärmeeinsparpotenzial durch Sanierung im Gemeindegebiet Machtlfing 2045 gegenüber 2023 nach konservativem Szenario in Prozent	47
48	Wärmebedarfsreduktionspfade (mit Großverbrauchern)	48
49	Wärmebedarfsreduktionspotenzial Zieljahr 2045	48
50	Schützenswerte Bereiche im Gemeindegebiet Andechs	50
51	Absatz Wärmepumpen im Gesamtmarkt 2016-2025	53
52	Schaubild Erdwärmekollektoren	53
53	Schaubild Erdsonden	54
54	Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmesonden in Andechs	55
55	Methodik der Potenzialerhebung für EWS	56
56	Potenzieller Deckungsgrad durch EWS im Gemeindegebiet Erling und Rothenfeld im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)	57
57	Potenzieller Deckungsgrad durch EWS im Gemeindegebiet Frieding im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)	57
58	Potenzieller Deckungsgrad durch EWS im Gemeindegebiet Machtlfing im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)	58
59	Schaubild Grundwasserwärmepumpen	58
60	Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen	59
61	Potenzieller Deckungsgrad durch GWWP im Gemeindegebiet Erling und Rothenfeld im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)	60
62	Potenzieller Deckungsgrad durch GWWP im Gemeindegebiet Frieding im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)	61
63	Potenzieller Deckungsgrad durch GWWP im Gemeindegebiet Machtlfing im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)	62
64	Schaubilder Sonderformen oberflächennahe Geothermie	62
65	Mischwasser-Stauraumkanal in Erling als potenzielle Wärmequelle	64
66	Wärmetauscher im kreisförmigen Kanal in Wangen, der seit 2019 mit 300 kW thermischer Leistung in ein Wärmenetz einspeist	64
67	Darstellung von zwei in Reihe geschalteten Abwasserwärmetauscher der Firma Jaske & Wolf	65
68	Gebiete mit günstigen geologischen Verhältnissen für tiefengeothermische Energiegewinnung (Karte nach StMWi, 2022)	67
69	Eignungsflächen für Photovoltaik- bzw. Solarthermie-Freiflächenanlagen gemäß der PV-Freiflächenkulisse des LfU	72
70	Solarthermie-Potenzial aufdach	73
71	Photovoltaik-Potenzial aufdach	73
72	Wasserstoff-Kernnetz 2032	75
73	Kennwerte des Durchschnittsgebäudes	78
74	EE-Deckungsanteile (teilsaniertes Standardhaus)	80
75	EE-Deckungsanteile (generalsaniertes Standardhaus)	80
76	Nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch & Treibhausgasemissionen (teilsaniertes Standardhaus)	81

Nr	Abbildung	Seite
77	Nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch & Treibhausgasemissionen (generalsaniertes Standardhaus)	82
78	Investitionskostenvergleich	83
79	Betriebskostenvergleich	83
80	Jährliche Wärmeversorgungskosten (teilsaniertes Standardhaus)	85
81	Jährliche Wärmeversorgungskosten (generalsaniertes Standardhaus)	85
82	Einteilung der Gemeindeteile Erling und Rothenfeld in grundsätzliche Eignungsgebiete	87
83	Einteilung des Gemeindeteils Frieding in grundsätzliche Eignungsgebiete	88
84	Einteilung des Gemeindeteils Machtlfing in grundsätzliche Eignungsgebiete	89
85	Entwicklung des Nutzwärmemix im Zielszenario ohne Tiefengeothermie	90
86	Entwicklung des Nutzwärmemix im Zielszenario mit Tiefengeothermie	90
87	(De-)zentrale Wärmeversorgung im Zielszenario ohne Tiefengeothermie	91
88	(De-)zentrale Wärmeversorgung im Zielszenario mit Tiefengeothermie	91
89	Entwicklung des Endenergiemix im Zielszenario ohne Tiefengeothermie	92
90	Entwicklung des Endenergiemix im Zielszenario ohne Tiefengeothermie	92
91	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Zielszenario ohne Tiefengeothermie	93
92	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Zielszenario mit Tiefengeothermie	93
93	Ausdehnung des empfohlenen Wärmenetzes Erling, Achse Molkerei / Dorfmitte / Kloster	97
94	Ausdehnung des empfohlenen Wärmenetzes Frieding, vom nördlichen Gewerbegebiet ins Ortszentrum	99

Tabellenverzeichnis

Nr	Tabelle	Seite
1	Strukturdaten Erdgasnetz	24
2	Bestand an Anlagen zur Nutzung oberflächennaher Geothermie	27
3	Bestand an KWK-Anlagen	30
4	Entzugsleistung für Erdwärmekollektoren in Andechs	54
5	Definition Standard-Haustypen	77f
6	Wärmeversorgungsvarianten	79
7	Preissteigerungsannahmen	84
8	Operationslisierung Nachhaltigkeitsbegriff	95
9	Kommunikationsziele	104
10	Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG)	108f

1. Zusammenfassung

Die kommunale Wärmeplanung der Gemeinde Andechs versteht die Wärmewende als langfristigen Transformationsprozess, der technische Machbarkeit, wirtschaftliche Tragfähigkeit und räumliche Gegebenheiten gleichermaßen berücksichtigt. Ausgangspunkt ist die Erkenntnis, dass die Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 ohne eine grundlegende Umgestaltung der Wärmeversorgung nicht möglich sein wird. Der Wärmeplan entwickelt deshalb auf Grundlage einer detaillierten Bestands- und Potenzialanalyse ein strategisches Zielbild für eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung, das als Orientierung für künftige kommunale und private Investitionsentscheidungen dienen soll.

Die Analyse zeigt, dass die Wärmeversorgung der Gemeinde derzeit noch überwiegend auf fossilen Energieträgern beruht. Erdgas stellt den wichtigsten Energieträger dar, gefolgt von Heizöl und Flüssiggas; erneuerbare Energien tragen bislang nur in begrenztem Umfang zur Wärmebereitstellung bei. Dieses Bild wird zwar maßgeblich von wenigen industriellen Großverbrauchern geprägt, doch auch ohne diese bleibt der Anteil fossiler Energieträger hoch. Entsprechend deutlich fällt die Treibhausgasbilanz aus und unterstreicht den Umfang der bevorstehenden Transformation. Zugleich wird sichtbar, dass die Wärmeversorgung nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern eng mit den unterschiedlichen Nutzungsstrukturen von Wohngebäuden, Gewerbe und Industrie verflochten ist.

Besonderes Gewicht erhält die Struktur des Gebäudebestands. Der überwiegende Teil der Gebäude stammt aus einer Zeit vor Einführung wirksamer energetischer Standards und weist entsprechend hohe Wärmebedarfe auf. Gleichzeitig ist die durchschnittliche Wohnfläche je Einwohner in den vergangenen Jahrzehnten erheblich gestiegen und hat einen Teil der Effizienzgewinne moderner Heiztechnik kompensiert. Daraus ergibt sich ein beträchtliches Einsparpotenzial durch energetische Sanierungen. Diese werden im Wärmeplan jedoch nicht nur als Mittel zur Verbrauchsreduktion verstanden, sondern als wesentliche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz künftiger Wärmeerzeugungstechnologien. Denn die vielerorts noch erforderlichen hohen Vorlauftemperaturen begrenzen insbesondere die Effizienz von Wärmepumpen und erschweren die Nutzung niedrig temperierter Umweltwärme. Gebäudesanierung und Dekarbonisierung der Wärmeversorgung bilden deshalb keine voneinander unabhängigen Aufgaben, sondern zwei Seiten desselben Transformationsprozesses.

Die räumliche Strategie des Wärmeplans folgt diesem systemischen Ansatz. Sie leitet geeignete Versorgungslösungen weder ausschließlich aus der Siedlungsstruktur noch allein aus der Wärmedichte ab, sondern aus dem Zusammenwirken von Wärmebedarf, vorhandener Infrastruktur, potenziellen Ankerkunden und den lokal verfügbaren erneuerbaren Wärmequellen. Wärmenetze kommen dort in Betracht, wo diese Faktoren gemeinsam günstige Voraussetzungen schaffen – insbesondere dort, wo hochwertige Wärmequellen wie industrielle Abwärme oder perspektivisch geothermische Ressourcen erschlossen und wirtschaftlich für mehrere Verbraucher nutzbar gemacht werden können. Hohe Wärme- und Wärmeliniendichten verbessern dabei die Wirtschaftlichkeit, stellen jedoch kein isoliertes Entscheidungskriterium dar. In weniger geeigneten Bereichen werden dagegen dezentrale Lösungen entwickelt, die sich an den jeweiligen Gebäuden und ihren technischen Voraussetzungen orientieren.

Entsprechend versteht der Wärmeplan die zukünftige Wärmeversorgung nicht als Wettbewerb einzelner Technologien, sondern als intelligente Verknüpfung lokaler Ressourcen. Umweltwärme, oberflächennahe und tiefe Geothermie, Biomasse, Solarenergie sowie industrielle Abwärme werden hinsichtlich ihrer technischen, wirtschaftlichen und räumlichen Nutzbarkeit bewertet und jeweils dort eingesetzt, wo sie ihre größten Systemvorteile entfalten können. Die Wärmeversorgung der Zukunft entsteht somit aus einer standortbezogenen Kombination zentraler und dezentraler Lösungen, deren gemeinsames Ziel eine möglichst ressourceneffiziente und treibhausgasarme Bereitstellung von Wärme ist.

Aus dieser Analyse entwickelt der Wärmeplan einen konkreten Handlungsrahmen für die kommenden Jahrzehnte. Neben dem schrittweisen Ausbau erneuerbarer Wärmenetze und der dezentralen Umstellung auf erneuerbare Heizsysteme stehen die Reduktion des Wärmebedarfs, die Professionalisierung des kommunalen Energiemanagements sowie umfassende Beratungs- und Förderangebote im Mittelpunkt. Die Wärmewende wird dabei ausdrücklich als dynamischer Prozess verstanden, dessen Erfolg von kontinuierlicher Fortschreibung, transparentem Controlling und der Mitwirkung kommunaler Akteure, Unternehmen und Bürger gleichermaßen abhängt. Ziel ist nicht der sozusagen mechanische Austausch fossiler gegen erneuerbare Energieträger. Vielmehr basiert sie die Strategie auf drei Grundprinzipien: Effizienz, also dem möglichst sparsamen Einsatz von Energie; Konsistenz, dem Einsatz naturverträglicher und dauerhaft verfügbarer Ressourcen; sowie Suffizienz, der Verringerung des absoluten Energiebedarfs durch einen bewussteren Umgang mit Flächen- und Ressourcenverbrauch. Erst das Zusammenwirken dieser drei Strategien ermöglicht eine dauerhaft tragfähige Wärmewende.

2. Ausgangslage

2.1. Anlass

„Bis zum Jahr 2045 werden die Treibhausgasemissionen so weit gemindert, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird“ – das Bundes-Klimaschutzgesetz[1] formuliert ein ebenso klares wie ambitioniertes Ziel. Aktuell (2025) werden in Deutschland jährlich rund 649 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente emittiert.[2] Gegenüber dem Referenzjahr 1990 wurden die Treibhausgasemissionen bereits um rund 48 Prozent gemindert. Ein nicht unwesentlicher Anteil davon entfiel allerdings auf den Wegfall bzw. die Sanierung der ostdeutschen Industrie nach der Wiedervereinigung. In der jüngeren Vergangenheit ging das Tempo der Emissionsminderung stark zurück. Gegenüber 2024 wurde im vergangenen Jahr nur noch eine Minderung um etwa 0,1 Prozent erreicht.

Der Gebäudesektor hat seine Emissionen seit 1990 infolge besserer Wärmedämmung und effizienterer Heiztechnik, aber auch infolge milderer Witterung in etwa halbiert. Trotz dieses Fortschritts bleibt der Gebäudesektor ein zentraler Handlungsbereich des Klimaschutzes, da fossile Heizsysteme weiterhin vorherrschend sind. Bundesweit beruht die Wärmeversorgung von Gebäuden derzeit nur zu rund 18 Prozent auf erneuerbaren Ressourcen.[3] Die nationalen Klimaschutzziele können ohne eine grundlegende Revision der Wärmeversorgung des Gebäudesektors nicht erreicht werden. Der Energiebedarf der Raumwärmeversorgung muss gemindert und der geminderte Bedarf muss zumindest weitgehend CO_2-neutral gedeckt werden. 20 Jahren bleiben dafür Zeit.

Vor dem Hintergrund sind die Gemeinden gesetzlich verpflichtet, mit einer sog. kommunalen Wärmeplanung in einem transparenten Prozess unter Einbindung lokaler Akteure auf Grundlage einer detaillierten Bestandsanalyse ihrer Gebäude- und Energieinfrastruktur und einer Potenzialanalyse erneuerbarer Wärmequellen ein Zielszenario für die dekarbonisierte Wärmeversorgung des Zieljahres 2045 zu erarbeiten. Sie ist ein strategisches, nicht rechtsverbindliches Instrument, das technische, räumliche, wirtschaftliche und gesellschaftliche Gesichtspunkte miteinbezieht. Sie zeigt auf, mit welchen Maßnahmen die Wärmewende Schritt für Schritt gelingen kann. Dabei versteht sie sich als dynamischer Prozess, der fortgeschrieben werden soll, um neue technologische Entwicklungen, gesetzliche Rahmenbedingungen und sonstige neue Erkenntnisse laufend zu berücksichtigen und mitaufzunehmen.

2.2. Geographische und demographische Grundlagen

Das durch Hügel, Moränen, Wälder, Wiesen und kleinere Gewässer geprägt Gemeindegebiet befindet sich auf einem Höhenrücken zwischen dem Ammersee im Westen und dem Starnberger See im Osten auf einer mittleren Höhenlage von etwa 690 Meter über dem Meeresspiegel. Mit einer Fläche von rund 40,4 Quadratkilometern zählt Andechs zu den flächenmäßig größeren Gemeinden des Landkreises Starnberg. Das Gemeindegebiet umfasst die Ortsteile Erling, Frieding, Machtlfing, Rothenfeld und Kloster Andechs. Letzteres ist ein bedeutendes religiöses, kulturelles und touristisches Zentrum. Mit Ausnahme der Dorfkerne liegt das Gemeindegebiet vollständig innerhalb des Landschaftsschutzgebiets „Westlicher Teil des Landkreises Starnberg“.

Zwischen 1990 und 2024 wuchs die Einwohnerzahl von etwa 2.782 auf 3.830 Personen (+ 38 Prozent).[4] Besonders deutlich war das Wachstum seit den 2000er-Jahren. Der Anteil der erwerbsfähigen Bevölkerung beträgt knapp 60 Prozent. Die Gruppe der Minderjährigen liegt wie die Kohorte der über 60-Jährigen bei etwa 20 Prozent. Dies entspricht dem allgemeinen demographischen Trend im ländlichen Bayern. Es wird davon ausgegangen, dass die Bevölkerung weiter wachsen wird. Sowohl dieser Umstand, als auch die zunehmende Alterung der Bevölkerung sind in Bezug auf die Entwicklung von zukünftigen Szenarien oder Kampagnen zu berücksichtigen. Letzteres, da die Bereitschaft zur Investition in sich nur langfristig amortisierende Gebäudesanierungen mit zunehmendem Alter ceteris paribus abnimmt.

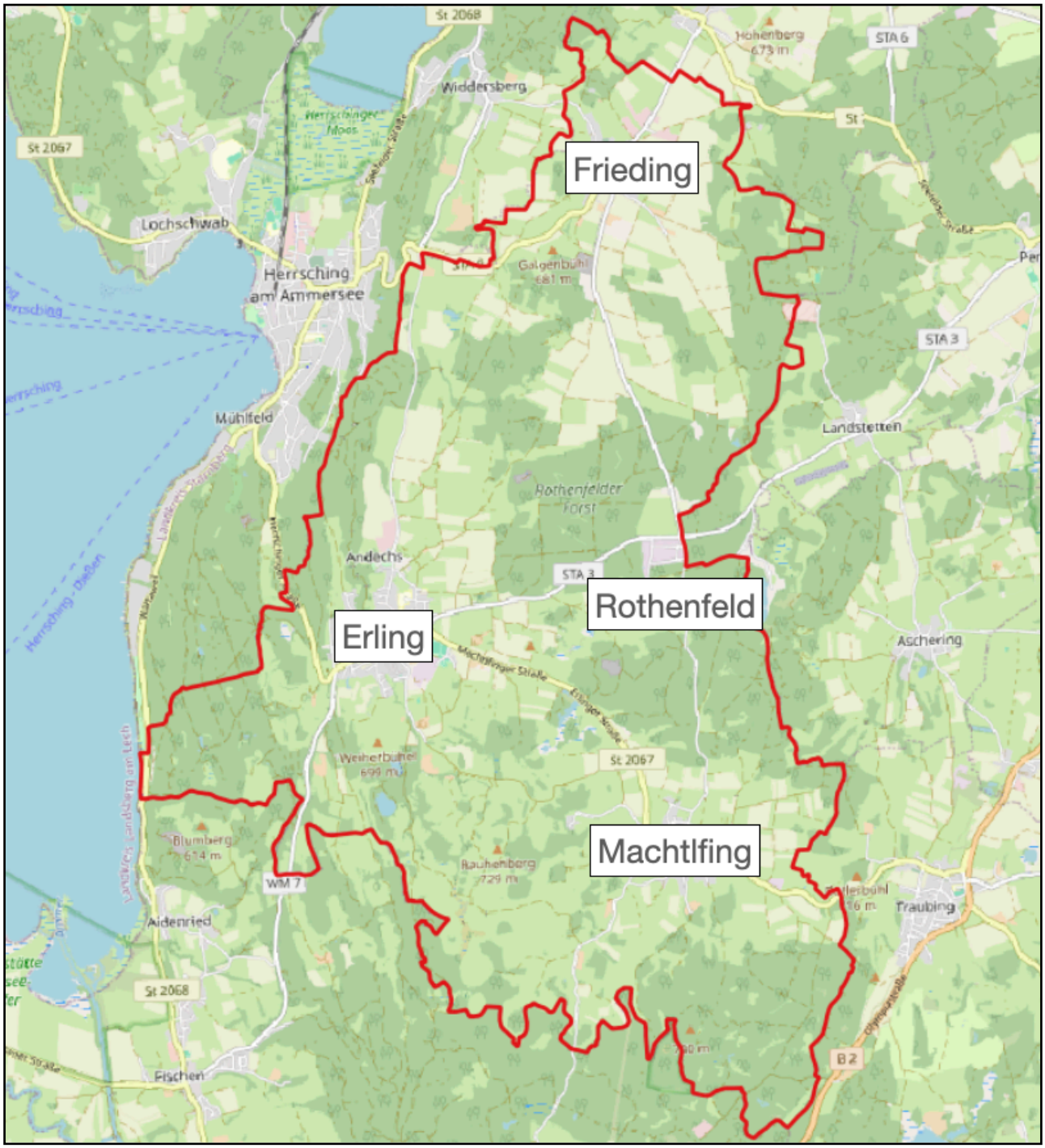
---

[1] § 3 Abs. 2 KSG.

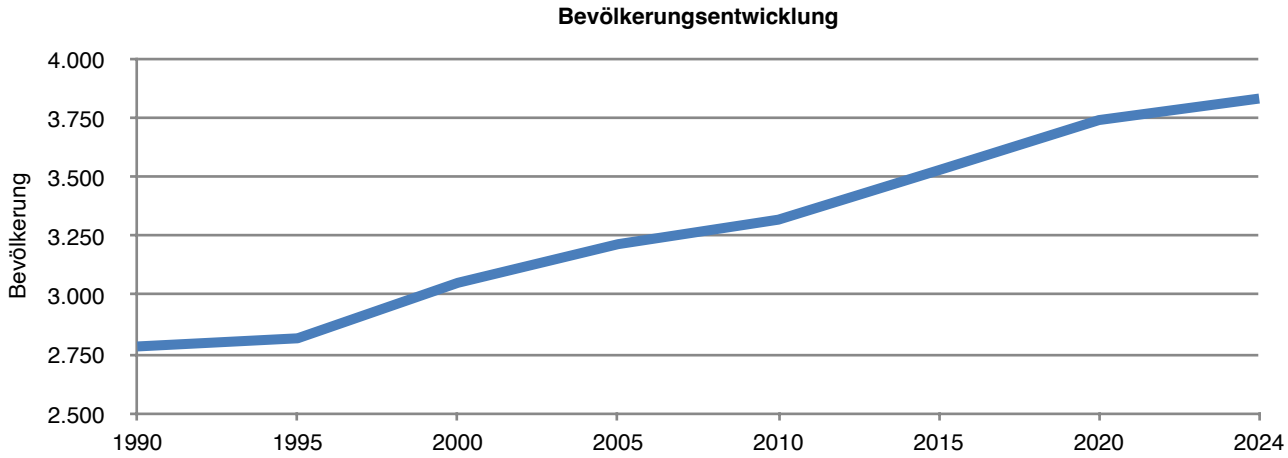
[2] vgl, auch im Folgenden https://www.bundesumweltministerium.de/pressemitteilung/treibhausgasdaten-zeigen-klimaschutz-braucht-neuen-schub.

[3] https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen.

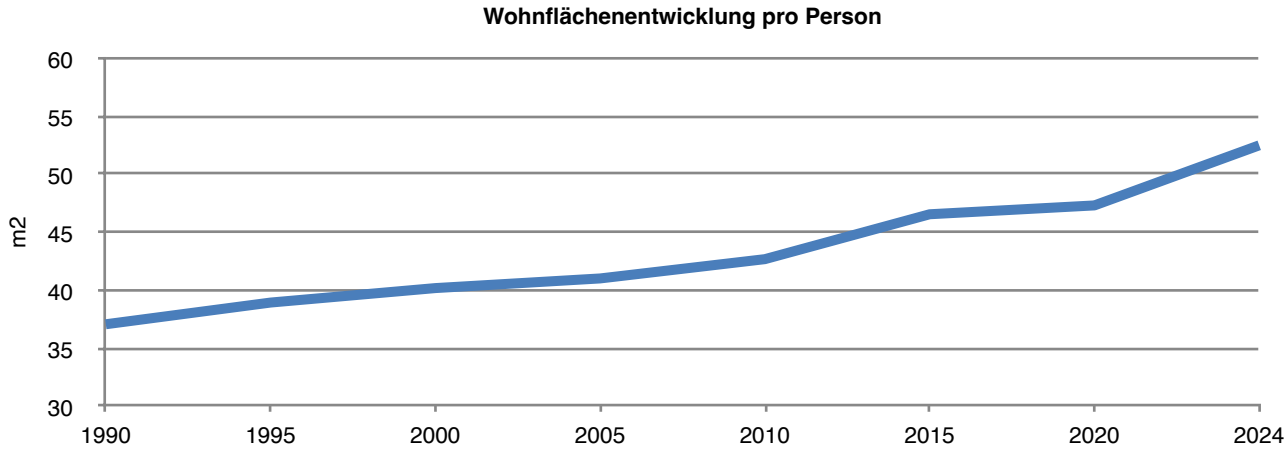
[4] auf im Folgenden: https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online.



Geografische Lage der Gemeinde Andechs

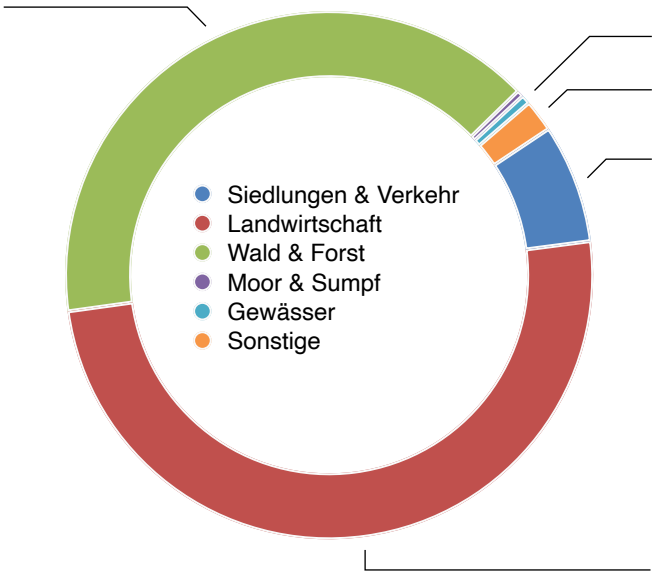


Bedeutender noch als die Bevölkerungszunahme ist die Entwicklung des Gebäude- und Wohnungsbestands. So stieg die Anzahl der Wohngebäude von 1990 bis 2024 von 645 auf 999 (+ 57 Prozent) und die gesamte Wohnfläche von 103.124 m² auf 201.098 m² (+ 95 Prozent). Das ist mithin die für Wärmeversorgungsstrategien bedeutendste Erkenntnis: Dass die mittlere pro Person in Anspruch genommene Wohnfläche seit 1990 von 37,1 m² auf 52,5 m² (+ 42 Prozent) angestiegen ist. Diese Entwicklung läuft dem Ziel, die Energieintensivität der Gebäudewärmeversorgung zu mindern, entgegen.



Mit der vermehrten Nutzung erneuerbarer Energieerzeugungstechnologien wie der Sonnen- oder der Bioenergie verlagert sich das Knappheitsproblem von den (endlichen) Fossilbrennstoffen zur (ebenfalls endlichen) Flächenverfügbarkeit. Insofern ist es von großer Bedeutung, wie die Gemeindeflächen aktuell genutzt werden, welchen Zwecken das Flächenangebot derzeit dient. Nebenstehende Abbildung gibt darüber Auskunft. Demnach wird die Hälfte des gesamten Gemeindegebiets landwirtschaftlich genutzt, weitere 40 Prozent entfallen auf Forst und Wald. Siedlungs- und Verkehrsflächen machen rund sieben Prozent aus. Sofern die Zahl landwirtschaftlicher Betriebe entsprechend allgemeiner Trends weiterhin abnehmen sollte und insofern freiwerdende Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen werden sollten, können diese grundsätzlich für Energiegewinnungszwecke zur Verfügung stehen. Komplexe Zusammenhänge wirken hier: Insofern wesentliche Teile der landwirtschaftlichen Flächen der Futtermittelproduktion dienen, besteht eine Verbindung zu Ernährungsstilen und deren Flächeneffizienz. Insofern auf den über 2.000 Hektar landwirtschaftlichen Flächen bilanziell wesentlich mehr Nahrungsmittel produziert werden können, als von der Gemeindebevölkerung benötigt werden, stellt sich auch die Frage der Import-/Export-Bilanz, die sich jedoch an Gemeindegrenzen nicht sinnvoll festmachen kann. Grundsätzlich kann gelten: Die Flächeninanspruchnahme erneuerbarer Energieerzeugung kann nur dann als nachhaltig eingestuft werden, wenn sie nicht nicht-nachhaltige direkte oder indirekte Landnutzungsänderungen wie z.B. den gesteigerten Import von mit großem ökologischem Fußabdruck produzierten Futtermitteln nach sich zieht. Und: Die Nutzung von Bioenergie kann nur so nachhaltig sein, wie das landwirtschaftliche System, auf dem sie beruht.

Aktuelle Flächennutzung



3. Methodik, Datengrundlagen und Akteursbeteiligung

Die vorliegende Wärmeplanung entwickelt auf Grundlage einer umfassenden Bestandsanalyse bestehender Wärmeversorgung (Kapitel 5) sowie eine ebenso umfassenden Potenzialanalyse für Wärmeeinsparungen und die Nutzbarmachung lokaler erneuerbarer Wärmequellen (Kapitel 6) ein Zielszenario (samt Entwicklungspfad) klimaneutraler Wärmeversorgung mit Einteilung des Gemeindegebiets in Eignungsgebiete für zentrale (netzgebundene) und dezentrale (gebäudeindividuelle) Versorgung (Kapitel 7). Um dieses Szenario für die Kommunalverwaltung greifbar und umsetzbar zu machen, wird im abschließenden achten Kapitel eine Handlungsstrategie mit ausgewählten Maßnahmen zur Umsetzung der lokalen Wärmewende entwickelt. Diese Methodik folgt den inhaltlichen Anforderungen an kommunale Wärmeplanungen nach Nr. 4.1.11 der Kommunalrichtlinie, auf deren Grundlage der Gemeinde Andechs eine Zuwendung aus dem Klima- und Transformationsfonds[5] für die Erstellung der Kommunalwärmeplanung zugesagt worden ist.

Als erste Datengrundlage dient ein vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie zur Verfügung gestelltes sog. „Kurzgutachten zur Eignungsprüfung für die kommunale Wärmeplanung“ mit Angaben zu Siedlungsstruktur, Gebäudenutzung, Baualter des Wohngebäudebestands, Bestand an Wärmeerzeugern (teilweise), Nutzenergieverbrauch der Bestandsgebäude sowie Angaben zu den Potenzialen oberflächennaher und tiefer Geothermie, von Abwärmequellen und Kläranlagenstandorten, sonstiger Umweltwärmequellen und der Biomasse (Biogas und Energieholz). Da dieser Datenbestand überwiegend auf Hochrechnungen und Extrapolationen beruhen – der Nutzenergieverbrauch etwa wird auf Grundlage von Daten über näherungsweise Nutzflächen und Baualterklassen von Gebäuden hochgerechnet – wurde er zur Erhöhung der Datenqualität und Datenvalidierung um folgende Datenquellen ergänzt (generelles Bezugsjahr ist dabei einheitlich das Kalenderjahr 2023, sofern nicht anders angegeben):

- Gasverbrauchsdaten des Gasnetzbetreibers (Energienetze Bayern GmbH & Co. KG), kartiert, wobei aus Datenschutzgründen (mit Ausnahme industrieller / gewerblicher Großverbraucher) mindestens fünf Gebäude zu einem Datenblock zusammengefasst sind
- Stromverbrauchsdaten elektrischer Wärmeerzeuger des Stromnetzbetreibers (Bayernwerk Netz GmbH), aggregiert
- Strukturdaten der Netze der öffentlichen Gas- bzw. Stromversorgung
- Strukturdaten bestehender Quartierwärmeversorgungen (Kleinwärmenetze)
- Gasnetzkarten mit Hauptleitungen und Hausanschlüssen
- Potenziale und Entwicklungsziele der öffentlichen Gas- bzw. Stromversorgungsinfrastruktur sowie bestehender Quartierwärmeversorgungen
- Informationen zur lokalen Abwasserinfrastruktur (AWA Ammersee KU)
- Verbrauchsdaten kommunaler Gebäude
- Kehrbuchdaten des zuständigen Bezirksschornsteinfegers
- Gebäude- und Liegenschaftsinformationen
- Marktstammdatenregister
- Solarkataster des Landkreises Starnberg
- ALKIS-Daten „Level of Detail 2“ (LOD2)
- Bayernatlas und Energieatlas Bayern (Webanwendungen des Bayerischen Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung)
- Daten des Bayerischen Landesamts für Statistik
- Das Wärmekataster wird anhand verschiedener Datenquellen (3D-Gebäudemodell der bayerischen Vermessungsanstalten, Kaminkehrer Daten, etc.) und Richtwerten zu spezifischen Wärmebedarfen im Rahmen dieses Wärmeplans in einem teilautomatisierten GIS-Verfahren berechnet.

Die aus diesen Quellen gewonnenen Daten wurden jeweils auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft. Lagen Lücken vor, wurden die Datenpunkte entsprechend ergänzt. Fehlerhafte Daten wurden korrigiert oder gelöscht. Für die einzelnen Baublöcke und Großverbraucher gingen vorrangig (gemessene) Wärmeverbrauchswerte vor (hochgerechneten) Wärmebedarfswerten in die Bilanz ein. Diese Datenvalidierung ist im Einzelnen ausgesprochen aufwändig. Sie erhöht die Qualität der Daten jedoch maßgeblich. Der Status quo des Wärmeverbrauchs in der Gemeinde und die Potenziale lokal verfügbarer erneuerbarer Energiequellen können damit wesentlich genauer dargestellt werden. Die Qualität eines Entwicklungsszenarios kann nur so gut sein wie die Qualität der Bestandsdaten, auf welchen es beruht. Einer exakten, gebäudescharfen Wärmeplanung stehen jedoch Datenschutzvorgaben entgegen (vgl. unten).

[5] Einzelplan 60, Kapitel 6092, Titel 68605.

Die insofern validierten Daten bilden nicht nur die Grundlage aggregierter Bilanzdaten, auf ihrer Grundlage wurde zudem ein gebäudescharfes Wärmekataster in einem GIS-Verfahren erstellt. Damit wird Auskunft über die räumliche Verteilung der Wärmebedarfe, Wärmepotenziale und sonstigen relevanten Kategorien erteilt – wesentliche Grundlage für die zugrundeliegende Frage, in welchen Gebieten netzgebundene Wärmeversorgungen sinnvoll darstellbar sind und/oder lokal verfügbare Energiequellen nutzbar gemacht werden können. Die Erstellung eines gehaltvollen Wärmeplans setzt die Berechnung von Daten voraus, die zumindest mittelbar einen Personenbezug aufweisen können. Da aus Datenschutzgründen die Veröffentlichung gebäudescharfer Wärmekataster insbesondere mit Bezug auf Privathaushalte jedoch nicht zulässig ist, wurden im Wärmeplan jeweils mindestens fünf Gebäude zu einem sog. Baublock zusammengefasst. Auch wenn es sich bei den Daten ausschließlich um energierelevante Informationen handelt und nicht um Informationen zu Personen selbst, wurde bei der Erstellung des Wärmeplans darauf geachtet, keine personenbezogenen Daten darzustellen. Die Datenerhebung und -verarbeitung folgt den Vorgaben des Wärmeplanungsgesetzes (WPG). Aus der öffentlichen Darstellung dürfen demnach keine Rückschlüsse auf die Energieversorgung und Verbräuche einzelner Bürger möglich sein. Die Verbrauchergruppen werden in diesem Wärmeplan nach Art und Größenordnung in verschiedene Gruppen aufgeteilt. Die Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ umfasst alle zu Wohnzwecken genutzten Objekte und deren Verbrauch. Diese schließen sowohl Wohnungen in Wohngebäuden als auch in Nicht-Wohngebäuden (z. B. hauptsächlich gewerblich genutzte Gebäude mit integrierten Wohnungen) ein. Zum „Gewerbe“ werden vereinfachend Betriebe aus Gewerbe, Handel, Dienstleitung, Industrie und Landwirtschaft gezählt.

Die Erarbeitung der Zielszenarien, der Entwicklungspfade sowie des Maßnahmenprogramms erfolgte in einem strukturierten Beteiligungsprozess unter Einbindung der betroffenen Verwaltungseinheiten und weiterer relevanter Akteure. Ziel war es, fachliche Expertise, lokale Rahmenbedingungen und praktische Umsetzungserfordernisse frühzeitig in die konzeptionelle Ausgestaltung des Kommunalen Wärmeplans einzubeziehen. Innerhalb der Verwaltung wurden mit der Liegenschaftsverwaltung, dem Energie- und Klimaschutzbeauftragten (Herr Rothdauscher), dem Bauamt und der Gemeindeleitung (Herr Kuch) alle Fachbereiche beteiligt, deren Aufgabenbereiche Berührungspunkte mit der Wärmeplanung aufweisen. In mehrere grundlegende Abstimmungen wurde zudem der Erste Bürgermeister (Herr Scheitz) eingebunden. Diese Abstimmungen ermöglichten es, Aspekte der Gemeindeentwicklung, Bauleitplanung, des Klimaschutzes, der Liegenschaftsverwaltung, Infrastrukturentwicklung sowie weiterer kommunaler Planungen konsistent zu berücksichtigen und bestehende Strategien miteinander zu verzahnen.

Darüber hinaus wurden die Betreiber der öffentlichen Energieinfrastruktur sowie weitere für die Wärmewende relevante Akteure in den Entwicklungsprozess eingebunden. Hierzu zählten

- Vertreter der Netze der allgemeinen Versorgung mit Erdgas (Energienetze Bayern GmbH & Co. KG) und Strom (Bayernwerk Netz GmbH),
- Betreiber bestehender Quartierwärmenetze (Herr Zerhoch und Gemeinde Andechs),
- der mit Abstand bedeutendste Großverbraucher von Wärme im Gemeindegebiet (Andechser Molkerei Scheitz GmbH), der zudem bedeutende Abwärmepotenziale aufweist,
- der Entwickler eines Tiefengeothermieprojekts in der Nachbargemeinde Herrsching (Erdwärme Herrsching GmbH & Co. KG) und
- ein Projektentwickler / Wärmenetzbetreiber, der in der jüngeren Vergangeheit Vorüberlegungen zur Erschließung des Gewerbegebiet Rothenfeld mit einem Wärmenetz angestellt hat (Maschinenring Starnberg GmbH).

Die Beteiligung umfasste insbesondere die fachliche Diskussion des Bestands und der Entwicklungspotenziale, möglicher Zielszenarien und Entwicklungspfade sowie die Erörterung konkreter Maßnahmen hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit, ihrer wirtschaftlichen Tragfähigkeit, ihres zeitlichen Horizonts, ihrer Risikostruktur und ihrer Wechselwirkungen mit bestehenden oder geplanten Infrastrukturen. Auf diese Weise konnten Kenntnisse zu bestehenden und geplanten, Netzstrukturen, Erzeugungsanlagen, Investitionszyklen und betrieblichen Randbedingungen systematisch in die Planung einfließen.

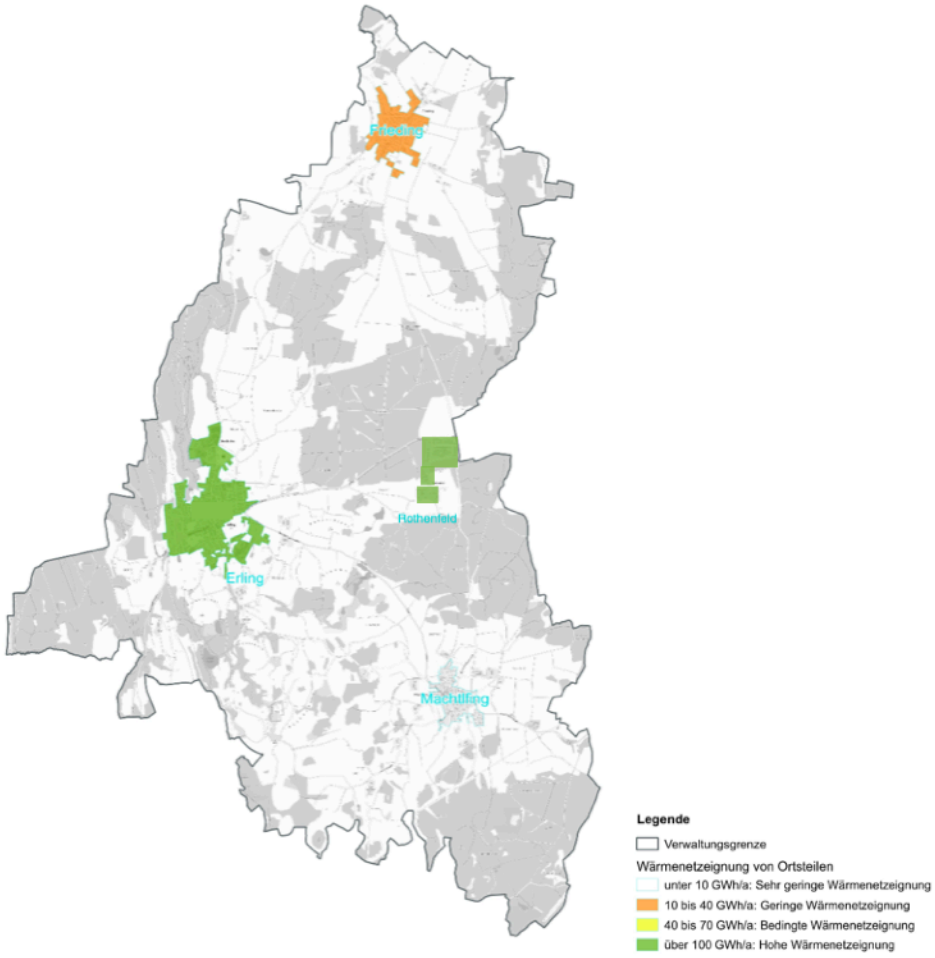
Die im Beteiligungsprozess gewonnenen Erkenntnisse wurden bei der Ausarbeitung und Priorisierung der Maßnahmen berücksichtigt. Hierdurch konnte die fachliche Belastbarkeit der Wärmeplanung gestärkt und sichergestellt werden, dass die vorgeschlagenen Entwicklungspfade sowohl den kommunalen Zielsetzungen als auch den infrastrukturellen und organisatorischen Rahmenbedingungen Rechnung tragen. Die Akteursbeteiligung leistete damit einen wesentlichen Beitrag zur Plausibilisierung der Planungsannahmen und zur Entwicklung eines tragfähigen, auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmten Wärmeplans.

4. Grundlegende Einordnung in Teilgebiete

In Anlehnung an die Vorgaben des WPG wird zu Beginn der Wärmeplanerstellung auf Grundlage folgender prinzipieller Kriterien geprüft, ob in einzelnen, mindestens aus mehreren Grundstücken oder Gebäudeblöcken bestehenden Teilgebieten der Gemeinde eine künftige Versorgung mit einem Wärmenetz oder Wasserstoff- bzw. Biomethannetz sehr unwahrscheinlich ist:

- Art und Baualter der Siedlungsstruktur
- Bestehende Wärmenetze
- Wärmedichte
- Potenzielle Ankerkunden & Großabnehmer
- Konkrete lokale Erzeugungsquellen für erneuerbare Energien
- Konkrete Abwärmepotenziale
- Konkrete vorhandene Anhaltspunkte für eine dezentrale Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Biomethan und/ oder Wasserstoff
- Trennende Hindernisse wie Straßen, Bahnstrecken, Gewässer oder Tunnel

In solchen Gebieten konzentriert sich die Planerstellung von Vornherein auf dezentrale Versorgungslösungen. Darüber hinaus werden solche Gebiete von der Wärmeplanung ausgeschlossen, die bereits über eine vollständig erneuerbare Versorgung verfügen (da hier die Wärmewende sozusagen bereits vollzogen ist). Nachfolgende Karte zeigt das Ergebnis der grundlegenden Eignungsprüfung.



Wärmenetzeignung gemäß Kurzgutachten StMWi Bayern Stand November 2025

5. Bestandsanalyse

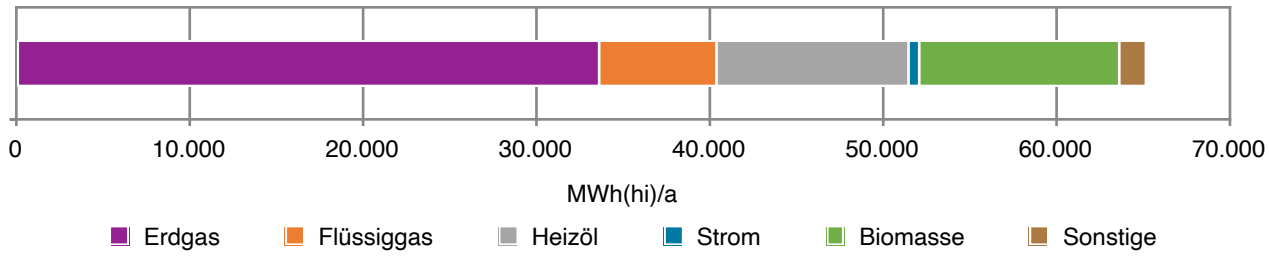
Grundlage aller wärmeplanerischen Überlegungen und Konzepte ist der Status quo der Wärmebedarfe für Raumheizung, Trinkwarmwasser, Prozess- und Kältetechnik und die Art und Weise, wie diese Bedarfe derzeit gedeckt werden. Mit welchen Energiequellen unter Nutzung welcher Energieinfrastruktur die privaten, öffentlichen und gewerblichen Gebäude mit Wärme versorgt werden, wird im Folgenden detailliert erhoben und sowohl aggregiert, als auch kartographisch dargestellt. Alle weiteren Schritte – die Potenzialanalyse, die Entwicklung eines Zielszenarios und die Ausarbeitung von Maßnahmen zur Reduktion der CO_2-Emissionen und zur Optimierung der Wärmeversorgung – beruhen auf dieser Bestandsanalyse.

5.1. Energie- und Treibhausgasbilanz

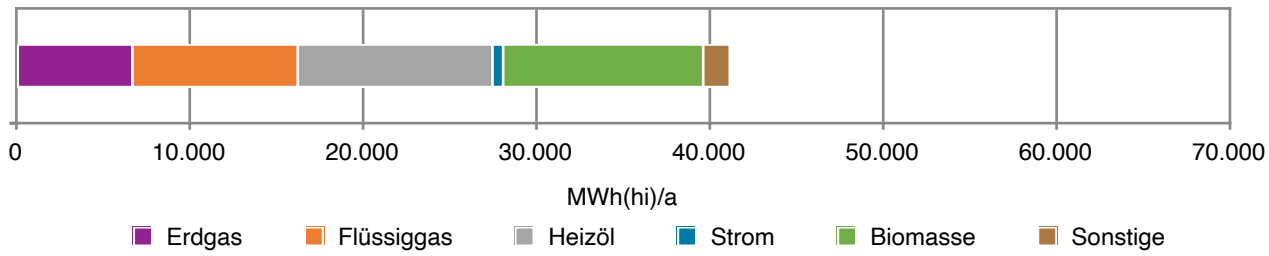
Im Gemeindegebiet werden derzeit[6] insgesamt rund 58,8 GWh_{th}/a an technisch zugeführter Wärmeenergie verbraucht (sog. Erzeuger-Nutzwärmeverbrauch). Dafür werden insgesamt rund 65,3 GWh_{hi}/a an Endenergie eingesetzt. Hiervon sind 18,1 Prozent erneuerbar. Mit 14.163 Tonnen CO_2-Äquivalenten ist der jährliche Treibhausgasausstoß entsprechend hoch. Pro verbrauchter Kilowattstunde Wärme werden 241 Gramm CO_2eq emittiert (durchschnittlicher Treibhausgas-Emissionsfaktor der Wärme). Der durchschnittliche Primärenergiefaktor der Wärme liegt über 1. Diese Zahlen zeigen, wie weit die Gemeinde Andechs aktuell von einer klimaneutralen, auf erneuerbaren Energieträgern beruhenden Wärmeversorgung entfernt ist.

Bei den Endenergieträgern dominiert Erdgas; hierauf entfallen 51,6 Prozent des Gesamtbedarfs. 17,0 Prozent macht Heizöl aus, weitere 10,4 Prozent Flüssiggas. Auf feste Biomasse – Holzhackschnitzel, Holzpellets, Scheitholz – entfallen 17,6 Prozent. Umweltwärme in Wärmepumpen, die nach einschlägigen Leitlinien künftig das Gros der Wärmeversorgung sicherstellen sollen, nutzbar machender elektrischer Strom (1,1 Prozent) ist in der Gesamtbilanz weitgehend unbedeutend.[7] In der Endenergiebilanz taucht definitionsbedingt eine Menge von rund 1,4 GWh/a an Umweltwärme nicht auf, die mittels Wärmepumpen zur Gebäudebehizung nutzbar gemacht wird.

Jährlicher Endenergieverbrauch nach Energieträgern



Jährlicher Endenergieverbrauch nach Energieträgern (ohne industrielle Großverbraucher)



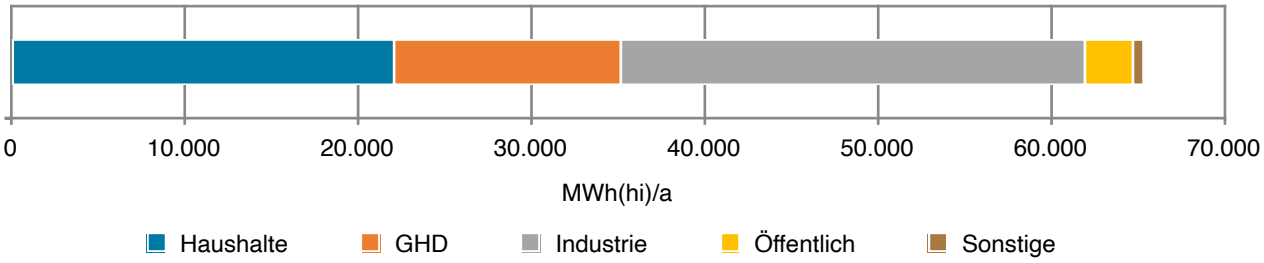
Dabei ist eines wichtig zu verstehen: 71,6 Prozent des gesamten Erdgasverbrauchs des Gemeindegebiets bzw. 36,9 Prozent des gesamten für die Wärmeerzeugung aufgewandten Endenergieverbrauchs entfallen auf zwei industrielle Großverbraucher und davon wiederum der Löwenanteil auf einen dieser beiden. Rechnet man diese Verbräuche heraus, ergibt sich ein anderes Bild der energetischen Verteilung (Modal Split). Wichtigste Endenergieträger sind in dieser

[6] Bilanzjahr 2023.

[7] Sonstige (2,3 %) enthalten Wärme aus elektrischen Speicherheizungen, Solarthermie und nicht zuordenbare Datensätze.

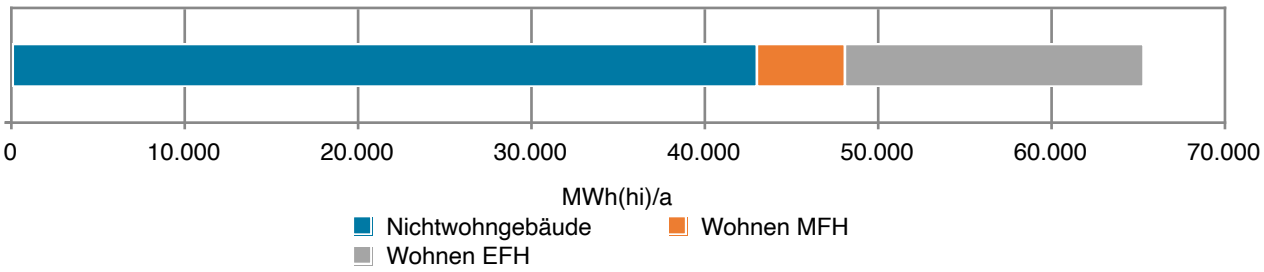
Grundgesamtheit feste Biomasse (27,9 %) und Heizöl (27,0 %). Erdgas (23,2 %) liegt hier nur auf Rang drei, der Anteil erneuerbarer Energien bei vergleichsweise guten 28,8 Prozent.

Jährlicher Endenergieverbrauch nach Sektoren



Die öffentlichen Gebäude verbrauchen in Andechs 2.869 MWh_{hi}/a, was 4,3 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs entspricht. Der Gesamtendenergieverbrauch der Haushalte summiert sich auf 22.640 MWh_{hi}/a (34,0 %), der des GHD-Sektors auf 13.357 (20,0 %). Mit 26.591 MWh_{hi}/a entfällt der Löwenanteil auf die besagten Industriebetriebe. Entsprechend die Verteilung auf Wohn- und Nichtwohngebäude (siehe nachfolgend).

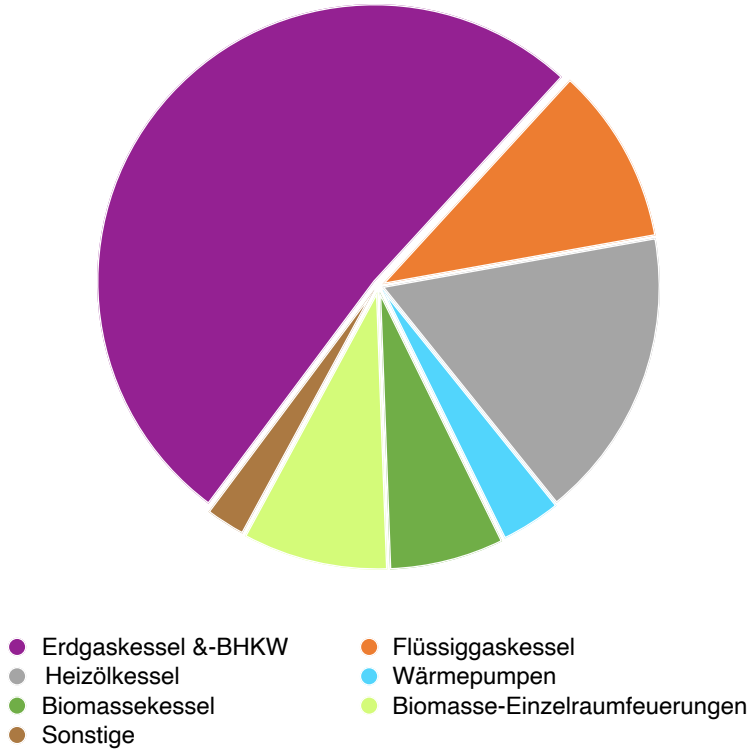
Jährlicher Endenergieverbrauch nach Gebäudetypen



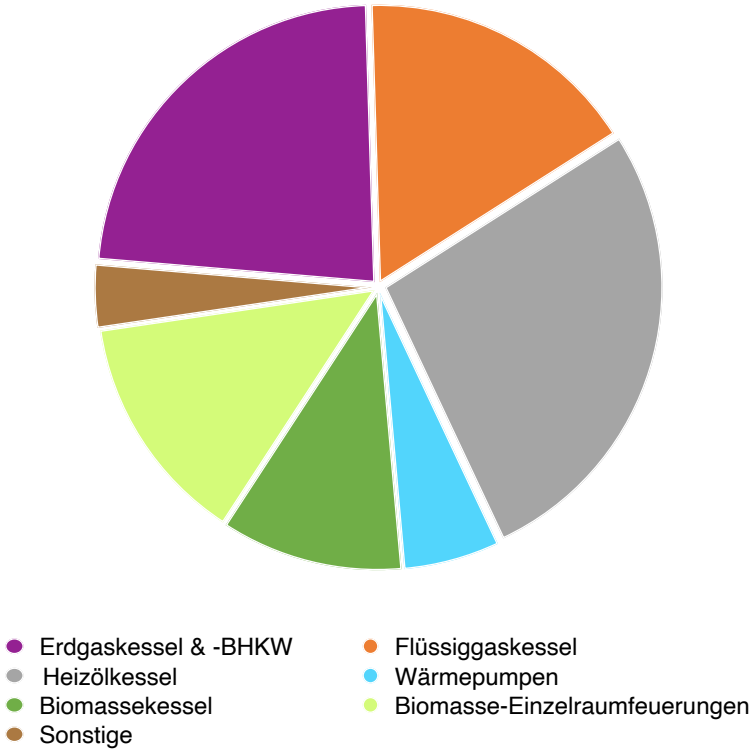
Bezogen auf den Nutzenergieverbrauch,[8] der aufgrund von Umwandlungsverlusten der Wärmeerzeugung geringer ist als der Endenergieverbrauch, lässt sich eine Aufteilung nach Heizungsarten vornehmen. Nachfolgende Kreisdiagramme zeigen diese (mit und ohne Industrie). Wegen der hohen Effizienz von Wärmepumpen, die aus einer Einheit elektrischer Energie je nach Umweltwärmequelle etwa drei bis vier Einheiten thermische Energie zu erzeugen in der Lage sind, ist deren nutzenergetischer Deckungsanteil höher als der endenergetische, jedoch weiterhin absolut vergleichsweise unbedeutend. In Bezug auf feste Biomasse ist eine Aufschlüsselung in Zentralheizungsanlagen und Einzelraumfeuerungen möglich; der Deckungsanteil von Einzelraumfeuerungen (Kachelöfen, Kaminöfen) ist demnach größer / bedeutender. Es gibt in der Gemeinde Andechs mehr Einzelraumfeuerungen (1.163) als Gebäude (1.106). Sie werden überwiegend mit Scheitholz betrieben.

[8] Erzeuger-Nutzwärmeabgabe

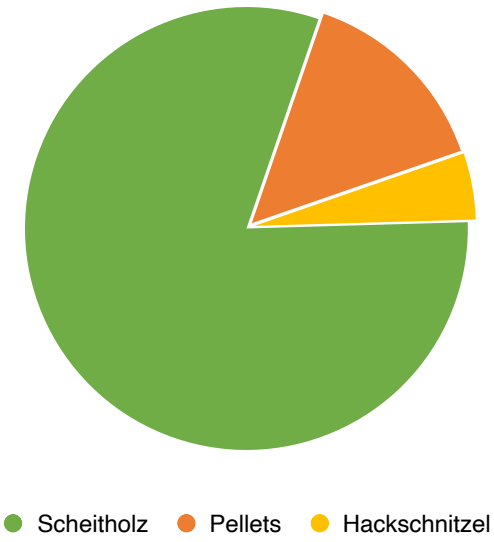
Nutzenergieverbrauch nach Heizarten



Nutzenergieverbrauch nach Heizarten (ohne Industrie)



Aufteilung von Arten fester Biomasse



Auf Scheitholz entfällt mit gut vier Fünfteln der Löwenanteil der 11.493 MWh_{hi} jährlich für die Wärmeversorgung verfeuerten festen Biomasse (vgl. Abbildung). Es wird nicht nur in Einzelraumfeuerungen, sondern auch Zentralheizkesseln eingesetzt. Scheitholz und Hackschnitzel sind ganz überwiegend Brennstoffe lokalen Ursprungs. Es sind lokale, allenfalls regionale Wertschöpfungsketten, die hier wirken. Die Transportwege sind überwiegend kurz. Bei der Versorgung mit Holzpellets hingegen, die auch überregional gehandelt werden, können über die Herkunft und den Grad der lokalen Eigenversorgung keine verlässlichen Angaben gemacht werden.

Unter Ansatz der Brennstoff-Emissionsfaktoren des Gebäudeenergiegesetzes und dem vom Umweltbundesamt für das Bilanzjahr veröffentlichten Emissionsfaktor des deutschen Strommix[9] ergibt sich die nachfolgende dargestellte Treibhausgasbilanz. 14.163 Tonnen CO_2-Äquivalente sind es demnach, die jährlich durch Wärmeerzeugungsanlagen verursacht in die Atmosphäre emittiert werden. Auch hier dominiert Erdgas (57,1 % der Emissionen), gefolgt von Heizöl (24,3 %) und Flüssiggas (12,9 %). Alle weiteren Endenergien sind treibhausgasbilanziell vergleichsweise unbedeutend. Mit steigendem EE-Anteil im deutschen Strommix wird die spezifische CO_2-Intensität elektrischer Wärmeerzeugung weiter zurückgehen. Klammert man die Industrie aus der Bilanz aus, entfällt mit 41,1 Prozent das Gros der Treibhausgasemissionen auf den Brennstoff Heizöl und stehen Erdgas (27,6 %) und Flüssiggas (21,8 %) zurück. Feste Biomasse geht in diese Bilanzen mit einem sehr geringen Emissionsfaktor von lediglich 20 g CO_2eq/kWh_{hi} ein. Wenngleich bei der Verbrennung von Holz tatsächlich sehr viel höhere Emissionen anfallen, wird es gleichwohl als bilanziell treibhausgasneutral betrachtet, da das Gehölz die durch Verbrennung freigegeben Menge an CO_2 in ihrem Wachstumsprozess zunächst aus der Atmosphäre entnommen (gebunden) hat. Problematisch bei dieser Bilanzregel ist der Zeitversatz: Zwar hat das Gehölz die entsprechende Menge Kohlendioxid tatsächlich aufgenommen, in die Atmosphäre rückentlassen wird es allerdings zu einem Zeitpunkt, zu dem die absoluten Emissionen aus Klimaschutzsicht dauerhaft gebunden bleiben sollten.

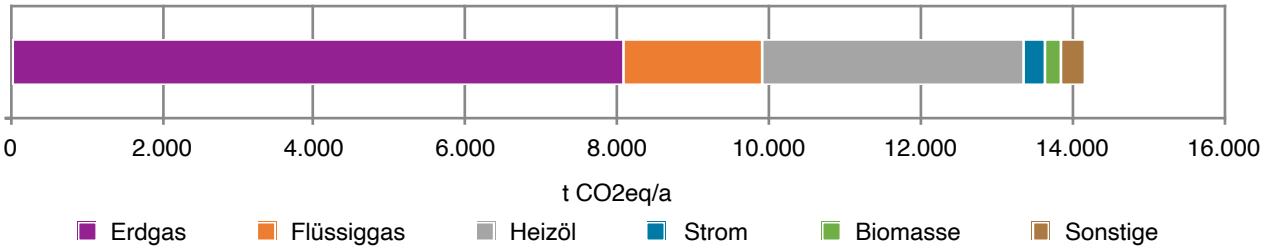
In der Treibhausgasbilanz wird davon ausgegangen, dass alle Gas- und Ölheizungen mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Tatsächlich muss das nicht so sein. Es ist auch möglich, durch anaerobe Vergärung biogener Rohstoffe gewonnenes und auf Erdgasqualität aufbereitetes sog. Biomethan massenbilanziell über das Gasnetz zu beziehen.[10] Ebenfalls massenbilanziell gehandelt wird in Verwertung von Reststoffen der Biodieselraffinade produziertes Bio-Flüssiggas (Bio-LPG). Auch biogene Öle sind marktverfügbar. All diesen gasförmigen und flüssigen Biobrennstoffen gemein ist ihre Knappheit. Lediglich wenige Prozentpunkte des Gesamtbedarfs an gasförmigen und flüssigen Brennstoffen stehen aus biogener Herkunft heute zur Verfügung. In welchem Umfang Endkunden in der Gemeinde Andechs diese Biobrennstoffe deren Preise trotz CO_2-Abgabe aktuell grosso modo erheblich höher sind als die der fossilen Substitute, heute von Lieferanten beziehen, darüber liegen keine Daten vor. Gemutmaßt werden kann, dass vereinzelt Kesselanlagen anteilig[11] oder vollständig mit gasförmigen oder (weniger wahrscheinlich) flüssigen Biobrennstoffen betrieben werden, der Anteil an der Gesamtbrennstoffmengen jedoch nur gering ist.

[9] Für die sonstigen (nicht eindeutig zuordenbaren) Brennstoffe wurde zum Zweck der Bilanzbildung vereinfachend ein Emissionsfaktor von 200 g/kWh angesetzt.

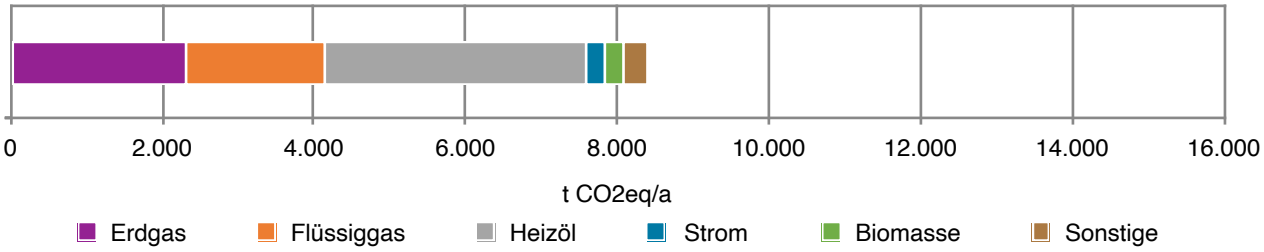
[10] Nicht zu verwechseln mit sog. Klimagas-Produkten, hinter denen sich herkömmliches Erdgas verbirgt und bei welchen die mit der Erdgasverbrennung entstehenden Treibhausgasemissionen mittels Zertifikaten bilanziell (angeblich oder tatsächlich) kompensiert werden. Auch der Begriff „Ökogas“ wird in diesem Kontext teilweise irreführend verwendet.

[11] Marktverfügbar sind auch sog. Beimischprodukte, z.B. 80 % Erdgas / 20 % Biomethan.

Treibhausgasemissionen nach Endenergieträgern



Treibhausgasemissionen nach Endenergieträgern (ohne industrielle Großverbraucher)



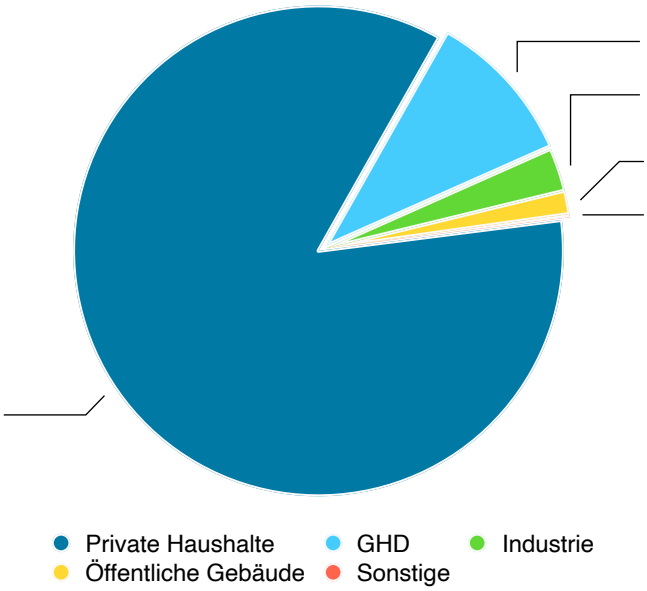
5.2. Wärmebedarfe in Abhängigkeit der Gebäude- und Siedlungsstruktur

Die dargestellten Verbräuche und Emissionen beziehen sich auf eine Grundgesamtheit von 1.106 beheizten Gebäuden. D.h. Gebäuden, welchen für ihre Raumwärme technisch Wärme

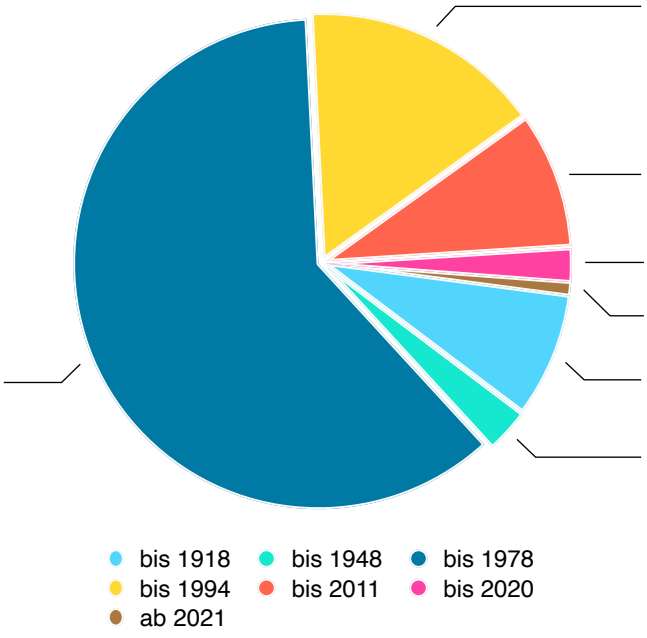
zugeführt wird. Über 85 Prozent davon sind private Haushalte, die Wärmeenergie zudem für die Trinkwarmwasserversorgung benötigen. Während der Trinkwarmwasserbedarf von der Anzahl der Bewohner abhängig ist und grundsätzlich ganzjährig gleichmäßig anliegt, folgt der Raumwärmebedarf im Wesentlichen der Außentemperatur, zeigt also größere jahreszeitliche Verschiebungen. Welcher Anteil des Gesamtwärmebedarfs auf die Raumwärme- bzw. Trinkwarmwasserversorgung entfallen, ist dabei wesentlich von der Dämmqualität des Gebäudes abhängig, und diese wiederum wesentlich von der Baualtersklasse. Während der der Trinkwarmwasser zuzuordnende Wärmebedarf eines Einfamilienhauses bei schlecht gedämmten Gebäuden unter zehn Prozent des Gesamtwärmebedarfs liegen kann, beträgt dieser Anteil bei aktuellen Neubauten häufig ein Drittel und mehr.

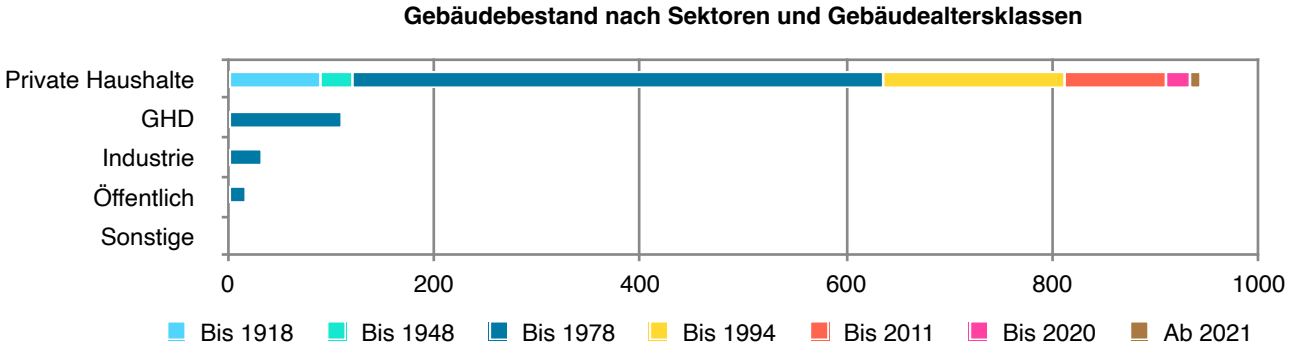
Bei Bürogebäuden steht der Trinkwarmwasserbedarf gegenüber dem Raumwärmebedarf in der Regel stark zurück. Häufig wird er nicht über Zentralheizungssysteme, sondern dezentral elektrisch gedeckt, entzieht sich demnach möglicher Wärmenetzversorgungen. Zunehmende Bedeutung hat die Gebäudekühlung, insbesondere von Nichtwohngebäuden. Der Raumwärme- und Trinkwarmwasserbedarf gewerblich bzw. industriell genutzter Gebäude variiert sehr stark mit der Art des Gewerbes. Hinzu können – ebenfalls gewerbeabhängig – Wärme- und Kältebedarfe für industrielle Prozesse. Industrielle Wärmeverbraucher gibt es in Andechs nur zwei, wobei einer wesentlich bedeutender ist als der andere und für das Gros des im Gemeindegebiet anfallenden Gesamtwärmebedarfs verantwortlich ist (vgl. hierzu ausführlich unten).

Verteilung des Gebäudebestands nach Sektoren

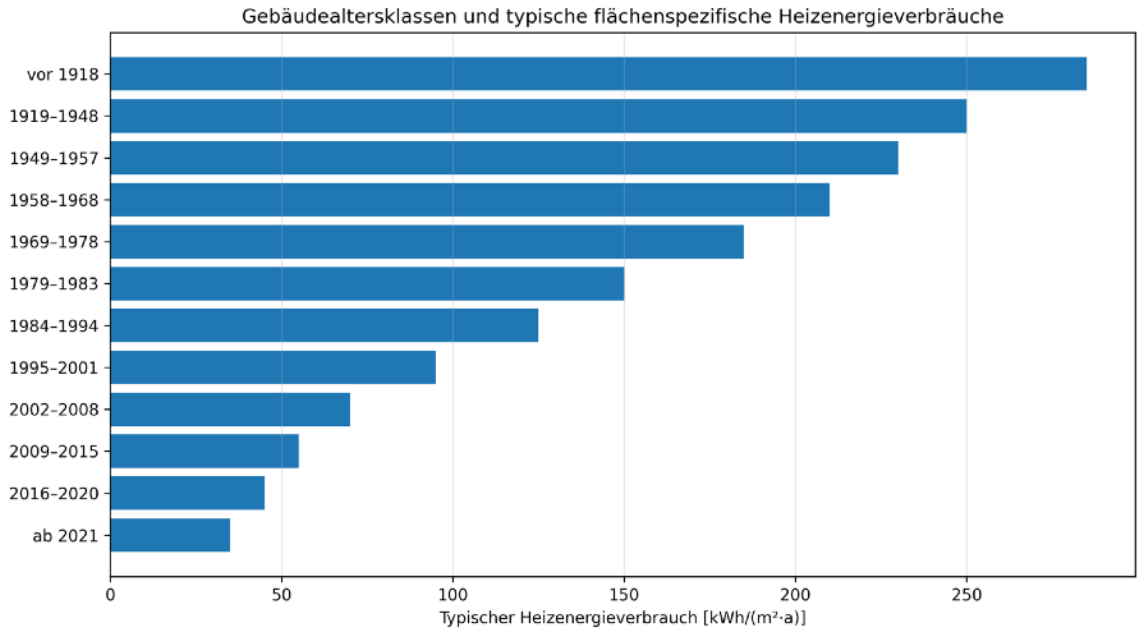


Verteilung des Gebäudebestands nach Gebäudealtersklassen





Wie die Abbildungen zeigen, ist der Gebäudebestand von Andechs insgesamt alt – 72 Prozent der Gebäude wurden bereits vor 1978 errichtet.[12] Das ist insbesondere deshalb bedeutend, weil erste gesetzliche Vorschriften zum energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden erst 1977 erlassen wurden (Wärmeschutzverordnung). Wie stark der flächenspezifische Heizenergieverbrauch von der Gebäudealtersklasse abhängt, zeigt u.s. Graphik. Mit einem Gebäudebestand, die überwiegend mehr als 50 Jahre alt ist, und der wie oben dargestellt stark zunehmenden Flächeninanspruchnahme pro Kopf, befindet sich die Gemeinde aktuell ceteris paribus auf einem nicht-nachhaltigen Wärmeversorgungspfad. Das gilt unabhängig von der Art der Deckung dieser Bedarfe, insofern die Effizienz des Ressourceneinsatzes notwendiger (nicht jedoch hinreichender) Bestandteil einer jeden energetischen Nachhaltigkeitsstrategie ist.[13] Für Wärmeplanungen zudem von großer Bedeutung ist, dass schlechtere Dämmqualitäten ceteris paribus höhere Heizwasser-Vorlauftemperaturen erfordern, was insbesondere Machbarkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpensystemen zumindest einschränken kann. Auch das kann ein wichtiger Grund für Gebäudehüllensanierungen sein: Dass damit die Voraussetzungen für effiziente Wärmeversorgungslösungen erst geschaffen werden.

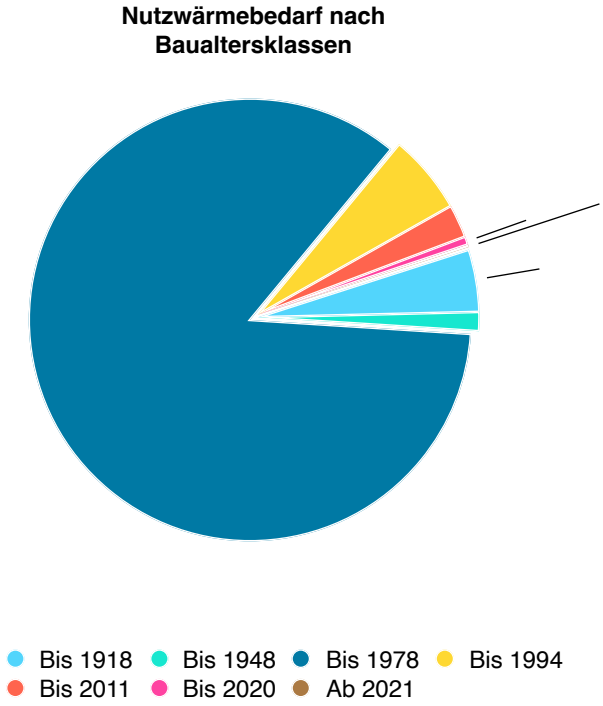


Quelle: Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Deutsche Wohngebäudetypologie (TABULA);
dena-Gebäudereport. Werte sind typische Orientierungswerte (Mittelwerte aus Bandbreiten).

[12] Einschränkung: Die verfügbaren Daten zum Gebäudealter konnten nicht durchweg validiert / plausibilisiert werden.

[13] vgl. z.B. Wuppertal Institut 2008.

Vor dem Hintergrund, dass die Energiebilanz grosso modo typische Sanierungs- / Modernisierungsgrade unterstellt, errechnet sich für die Gemeinde Andechs ein aktueller flächenspezifischer Heizenergieverbrauch[14] für Wohngebäude von 110 kWh_{hi} pro Quadratmeter und Jahr. Über alle Sektoren hinweg vereinen die bis 1978 errichteten Nachkriegsbauten 85 Prozent des gesamten Nutzwärmebedarfs auf sich. Es besteht demnach ein erhebliches Potenzial zur Wärmebedarfsminderung durch energetische Gebäudesanierung.



Der starke Überhang vergleichsweise alter, in den Nachkriegsjahrzehnten errichteter Gebäude lässt im Übrigen den Schluss zu, dass die überwiegende Mehrheit der Gebäude für die Raumwärmeversorgung vergleichsweise hohe Heizwasser-Vorlauftemperaturen benötigt.[15] Mit Radiatoren ausgestattete Gebäude mit vergleichsweise geringer Dämmqualität sind häufig auf Heizwasser-Vorlauftemperaturen von ca. 80 °C im Auslegungszustand angewiesen, um typische Raumtemperaturen auch im Hochwinter erreichen zu können. Bei gegebener Gebäudehülle kann dieser Temperaturbedarfswert[16] nur durch eine Vergrößerung der Heizwasserübertragungsflächen – zusätzliche oder größere Heizkörper oder Flächenheizsysteme – reduziert werden. Aus der Literatur ist bekannt,[17] dass der Anteil von Gebäuden mit Niedertemperaturheizsystemen in den in Andechs vorherrschenden Baualtersklassen vergleichsweise gering ist. Dieser Befund ist von überragender Bedeutung für die Frage der Erschließung lokal verfügbarer Umweltwärmequellen mittels Wärmepumpen für die Gebäudewärmeversorgung, da diese a) technisch nur bestimmte Vorlauftemperaturen bereitstellen können und b) die Effizienz des Wärmepumpenprozesses mit der Temperaturdifferenz zwischen der Umweltquellen- und der Heizwassertemperatur stark abnimmt. Vorlauftemperaturen von bis zu 30 °C können selbst Luft-Wasser-Wärmepumpen mit einem sog. SCOP von bis zu etwa 5 herstellen, d.h. mit einer Kilowattstunde Strom können etwa fünf Kilowattstunden Wärme erzeugt werden.[18] Bei Erdsonden oder Erdkollektoren nutzenden Sole-Wasser-Wärmepumpen oder Grundwasser nutzenden Wasser-Wasser-Wärmepumpen ist die jahreszeitliche Effizient noch höher. Bei Heizwasser-Temperaturen von 60 °C und mehr sinken die Jahresarbeitszahlen solcher Wärmepumpen jedoch in die Nähe von 1; sie können dergleichen Umweltwärmequellen kaum noch technisch nutzbar machen. Im Folgenden wird darauf zurückzukommen sein: Dass die Nutzbarmachung lokal verfügbarer Umweltwärmequellen (mit Ausnahme von Abwärmequellen wie von Abwasser etc.) vom Sanierungsgrad des Gebäudebestands abhängig ist. Ohne umfassende Gebäudebestandssanierung ist in der Breite keine effiziente (energie- und kosteneffiziente) Wärmepumpenversorgung in Andechs möglich.

[14] Endenergie.

[15] Auch wenn hierzu keine Gebäudedaten vorliegen.

[16] Abgesehen von speziellen sog. Niedertemperatur-Heizkörpern, die eine aktive Belüftung erfordern.

[17] vgl. etwa https://www.iwu.de/publikationen/tools/energieprofil/webtool/.

[18] Die Jahresarbeitszahlen konkreten Anwendungen liegen – insbesondere auch in Abhängigkeit des Trinwarmwasserbedarfs – in der Regel deutlich darunter.

5.3. Energieinfrastruktur

Mit welchen technischen Anlagen wird Wärme aktuell erzeugt und verteilt? Wieviele Einzelanlagen welchen Typs gibt es, welche Art von Leitungsinfrastruktur liegt wo in welcher Form an? Der nachfolgend dargestellte Bestand an Energieinfrastruktur ist wesentliche Grundlage aller Wärmewendekonzeption.

5.3.1. Leitungsgebundene Infrastruktur

Weite Teile Erlings sind durch ein Netz der allgemeinen Erdgasversorgung mit den in nachfolgender Tabelle dargestellten Netzstrukturdaten erschlossen. Die Folgeseite zeigt eine kartographische Darstellung der Hauptleitungen dieses Netzes; Hausanschlussleitungen sind aus Datenschutzgründen nicht dargestellt. Aktuelle Konzessionärin der Gemeinde Andechs für dessen Betrieb ist die Energienetze Bayern GmbH & Co. KG (ENB). Die übrigen Ortsteile der Gemeinde haben keinen Gasnetzanschluss.

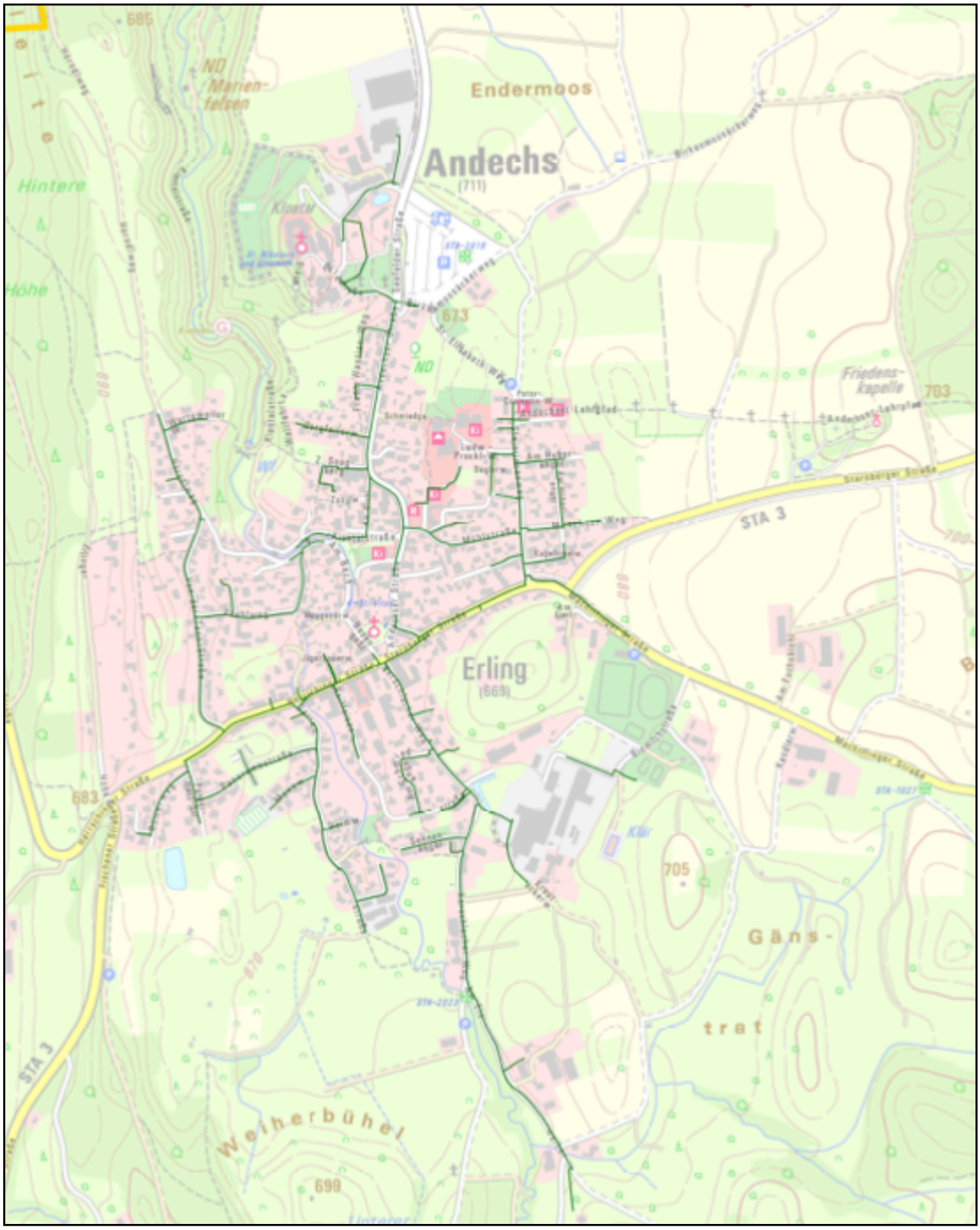
Verteilnetzbetreiber	Energienetze Bayern GmbH & Co. KG
Verteilnetz	
Energieträger	Erdgas, H-Gas
Druckstufe A (bis 1 bar)	
Leitungslänge	9,8 km
Netzanschlüsse	318
Jährliche Ausspeisung	13,2 GWh/a
Druckstufe B (bis 70 bar)	
Leitungslänge	7,9 km
Netzanschlüsse	1
Jährliche Ausspeisung	32,0 GWh/a

An das auf dem Gemeindegebiet liegende Mitteldrucknetz ist lediglich ein industrieller Großverbraucher angeschlossen; alle übrigen Verbraucher verfügen über Niederdruckanschlüsse. Insgesamt sind 29 Prozent aller Gebäude der Gemeinde direkt an das Erdgasnetz angeschlossen. Über kleine Wärmeverbünde benachbarter Gebäude oder Wärmeanschlüsse von Nebengebäuden kommt noch eine im einzelnen unbekannte Zahl mittelbar gasnetzversorgter Gebäude hinzu.

Über das Netz der allgemeinen Gasversorgung können grundsätzlich alle angeschlossenen Endverbraucher kaufmännisch neben fossilem Erdgas auch aus biogenen Rest- und Abfallstoffen oder Energiepflanzen erzeugtes Biomethan oder methanisierten Wasserstoff (z.B. sog. „Windgas“) beziehen. Solcher Bezug erfolgt massenbilanziell: Es ist vom Lieferanten nachzuweisen, dass die gleiche (nicht: dieselbe) Menge erneuerbaren Methans an anderer Stelle des europäischen Gasnetzverbunds eingespeist worden ist. Biomethanprodukte unterscheiden sich insbesondere durch die Zusammensetzung der biogenen Rohstoffe (Substrate), aus welchen sie durch vorwiegend anaerobe Vergärung gewonnen werden. Sie sind strikt zu unterscheiden von fossilem Erdgas, welches durch Treibhausgasemissionszertifikate ergänzt als sog. „Klimagas“ oder „Ökogas“ am Markt angeboten wird.

Es ist nicht bekannt, in welchem Umfang Gaskunden im Andechser Gemeindegebiet aktuell Biomethan über das Gasnetz beziehen. Im Bundesgebiet gibt es derzeit insgesamt 300 Biomethan-Einspeiseanlagen mit einer Gesamtleistung von 189.517 Normkubikmetern pro Stunde.[19] Die der Gemeinde Nächstgelegene liegt in Altenstadt bei Schongau. Im Gemeindegebiet selbst wird kein Biogas erzeugt, demnach auch keines aufbereitet ins Gasnetz eingespeist.

[19] https://www.dena.de/biogaspartner/biomethan/einspeiseatlas/.



Erdgasnetz in Erling.

Im Gemeindegebiet gibt es zwei kleine Wärmenetze. Es handelt sich dabei um Nachbarschaftslösungen / Quartierslösungen, keine Wärmenetze kommunaler Ausdehnung. Eine Heizzentrale in der Grundschule Erling versorgt neben der Grundschule selbst noch das Rathaus, eine Turnhalle, eine Kindertagesstätte und einen sog. Pavillon über Nahwärmeleitungen, sämtlich kommunale Gebäude. Die Heizzentrale besteht aus einem Blockheizkraftwerk und zwei Heizkesseln, die mit Erdgas betrieben werden. Innerhalb dieses Wärmeverbunds versorgt sich die Gemeinde selbst; es besteht kein Erweiterungspotential. Das andere Wärmenetz befindet sich in Frieding. Über einen Hackschnitzelkessel versorgt ein holzverarbeitendes Gewerbe zwei weitere Handwerksbetriebe mit Wärme. Der holzverarbeitende Betrieb sammelt über das Jahr einen großen Überschuss an Hackschnitzeln an. Hier besteht ein größeres Rohstoffpotenzial für etwaige Wärmenetzerweiterungen. Eine Initiative für eine Wärmenetzversorgung des Gewerbegebiets Rothenfeld, ausgehend von einem Gewerbe mit großen Holzüberschüssen, kam vor wenigen Jahren über eine Ideenphase nicht hinaus und wurde nach Angaben der Initiatoren mangels Interesse der möglichen Anschlussnehmer nicht weiterverfolgt.

Elektrisch ist Andechs auf Mittelspannungsebene (20 kV) an das vorgelagerte Stromnetz angeschlossen. Auf Mittelspannungsebene ist das Netz ca. 35 Trassenkilometer lang. Aktueller Konzessionär für den Betrieb des öffentlichen Verteilnetzes ist die Bayernwerk Netz GmbH (Verteilnetzbetreiber, VNB). Auf Hoch- (110 kV) und Höchstspannungsebene (220 kV / 380 kV) grenzen Trassen an das Gemeindegebiet an bzw. kreuzen diese im südlichen Bereich. Beide Spannungsebenen führen in meist gemeinsam genutzten Trassenverläufen von Oberbrunn nach Dießen (110 kV) bzw. von Oberbrunn nach Schlehdorf (220 kV). Die relevanten Umspannwerke für diese Ebenen stehen als relevante Netzknotenpunkte in Hochstadt und Oberbrunn. Sollten große Stromerzeugungsanalagen wie große Freiflächen-Photovoltaikanlagen (FF-PV-Anlagen) oder Windenergieanlagen (WEA) im Gemeindegebiet entstehen, müssten diese bei limitierten Netzkapazitäten auf Mittelspannungsebene kostenintensiv auf Hochspannungsebene eingespeist werden. Netzverstärkende Maßnahmen sind für die Verteil- und Übertragungsnetze auf Mittel- und Hochspannungsebene nach Auskunft des VNB geplant. Bis 2028 sollen zusätzliche 120 MVA Übertragungskapazitäten geschaffen werden, bis 2033 zusätzliche 592 MVA.

5.3.2. Wärmeerzeugungsanlagen

Zur Beheizung von 1.106 Gebäuden werden in Andechs nach den vorliegenden Daten insgesamt 1.070 Zentralheizungen mit einer Gesamtheizleistung von 32,7 MW_{th} betrieben. 75 Prozent davon sind Öl- und Gasheizkessel, 14,2 Prozent Biomassekessel (feste Biomasse) und der Rest Wärmepumpen (vgl. Abbildung). Darüber hinaus werden zur Wärmeversorgung insgesamt 1.162 Einzelraumfeuerungen und 36 elektrische Speicherheizungen mit einer Gesamtheizleistung von 8,9 MW_{th} vorgehalten. Die überwiegende Mehrzahl der Einzelraumfeuerungen wird mit Scheitholz betrieben.

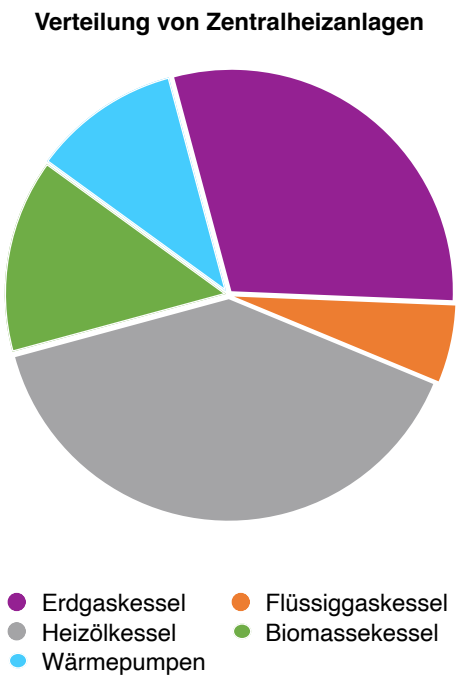
Der Bestand an Heizölkesseln ist insgesamt stark veraltet. Bei einer technischen Lebensdauer[20] von 20 Jahren beträgt das Durchschnittsalter der Heizölkessel aktuell 26 Jahre (Median). Es besteht insofern ein größerer Investitionsstau bei der vorherrschenden Heizungsart. Eine sehr gute Voraussetzung für das Ziel, diese in den nächsten Jahren konsequent zurückzudrängen bzw. zu ersetzen. Die ebenfalls weit verbreiteten Gasheizungen sind insgesamt jüngeren Datums, ihr Durchschnittsalter beträgt aktuell 14 Jahre.

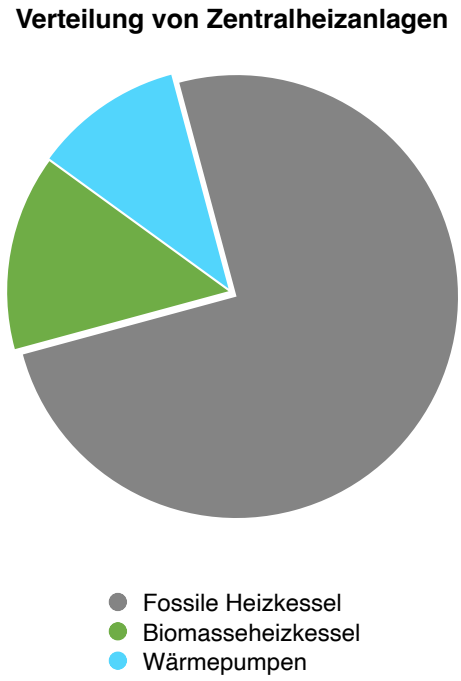
Aus den Bestandsdaten ergibt sich, dass die Einzelraumfeuerungen in der überwiegenden Mehrzahl in Gebäuden betrieben werden, die auch über eine zentrale Raumwärmeversorgung verfügen. Daraus lässt sich ableiten:

- Unter der Annahme, dass die jeweiligen Zentralheizsysteme grundsätzlich auf eine Wärmevollversorgung der jeweiligen Gebäude ausgelegt sind, lässt sich ableiten, dass die überwiegende Mehrzahl der Einzelraumfeuerungen für die Gebäudebeheizung grundsätzlich entbehrlich ist. Ein Zurückdrängen der Einzelraumfeuerungen wäre aus energiefachlicher Sicht in mehrerer Hinsicht zielführend: Zum einen, weil ihr Jahresnutzungsgrad – also der Grad der Effizienz des Brennstoffeinsatzes – deutlich niedriger ist als der moderner Biomasse-Zentralheizungskessel. Und zum zweiten, weil sie (stark abhängig vom Nutzerverhalten) grosso modo eine höhere Schadstoffintensität (Feinstaub, Kohlenmonoxid) aufweisen.
- Da die Einzelraumfeuerungen fast ausschließlich mit Scheitholz betrieben werden – Kachelöfen, Schwedenöfen, Kaminöfen, Holzherde – und da fossile Heizkessel unter den Zentralheizungen vorherrschend sind, verdrängen sie heute überwiegend fossile Brennstoffe aus der Gesamtenergiebilanz.
- Insbesondere größere Feuerstätten wie zentral angeordnete Kachelöfen können dabei helfen, fossile Zentralheizsysteme auf Umweltwärmequellen nutzbar machende Wärmepumpen umzurüsten. Dies deshalb, weil sie in vor allem älteren Häusern, deren Zentralheizsysteme bei kalten Außentemperaturen nur mit hohen Vorlauftemperaturen Räume auf die gewünschte Temperatur beheizen können und Wärmepumpen diese Vorlauftemperaturen nicht oder nur mit ausgesprochen schlechter Effizienz erreichen können, den Wärmepumpen sozusagen einen Teil der Arbeit abnehmen können.

[20] nach VDI-Richtlinie 2067.

In der Gesamtheit der Gebäude, die über Zentralheizungen und Kachel- oder Kaminöfen verfügen, gibt es eine große Varianz bzgl. der Wärmedeckungsanteile der jeweiligen Heizsysteme. In manchen Häusern wird nur gelegentlich und überwiegend aus atmosphärischen Gründen ein Kaminofen angeheizt, in anderen wird ganz überwiegend mit ihnen geheizt und Heizkörper oder Flächenheizungen allenfalls sporadisch oder zur Aufrechterhaltung einer gewissen Grundtemperatur aufgedreht. Es gibt hier in den Einzelfällen also eine hohe Abhängigkeit vom jeweiligen Nutzerverhalten.





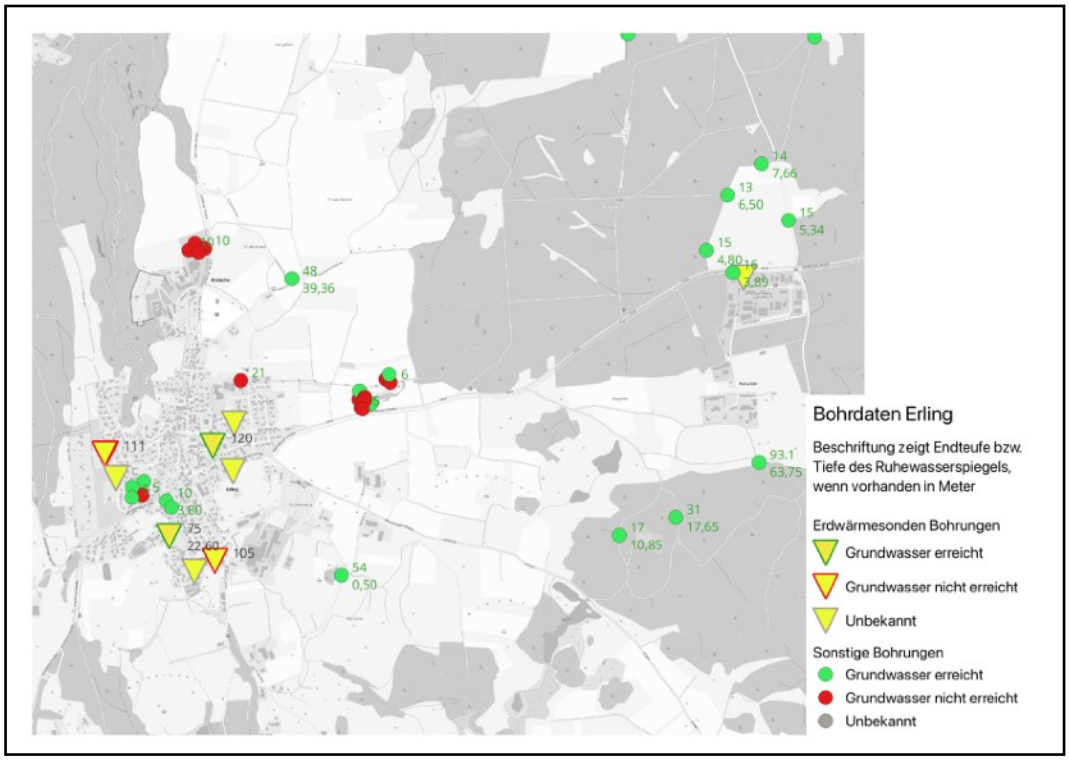
5.3.3. Geothermische & hydrothermische Anlagen

Im Gemeindegebiet gibt es insgesamt 39 Erdsonden mit einer Endteufe zwischen ca. 45 und 110 Metern, die Erdwärme in Verbindung mit Sole-Wasser-Wärmepumpen technisch nutzbar machen. Relativ am höchsten ist die Verbreitung im Gemeindeteil Machtlfing. Die Anzahl von anderen Anlagen zur Erdwärmenutzung wie Erdwärmekollektoren oder Erdwärmekörben ist nicht bekannt. Der Wärmeversorgung dienende Grundwasserbohrungen (für Wasser-Wasser-Wärmepumpen) gibt es nur eine im Norden Erlings (Baujahr 1967).

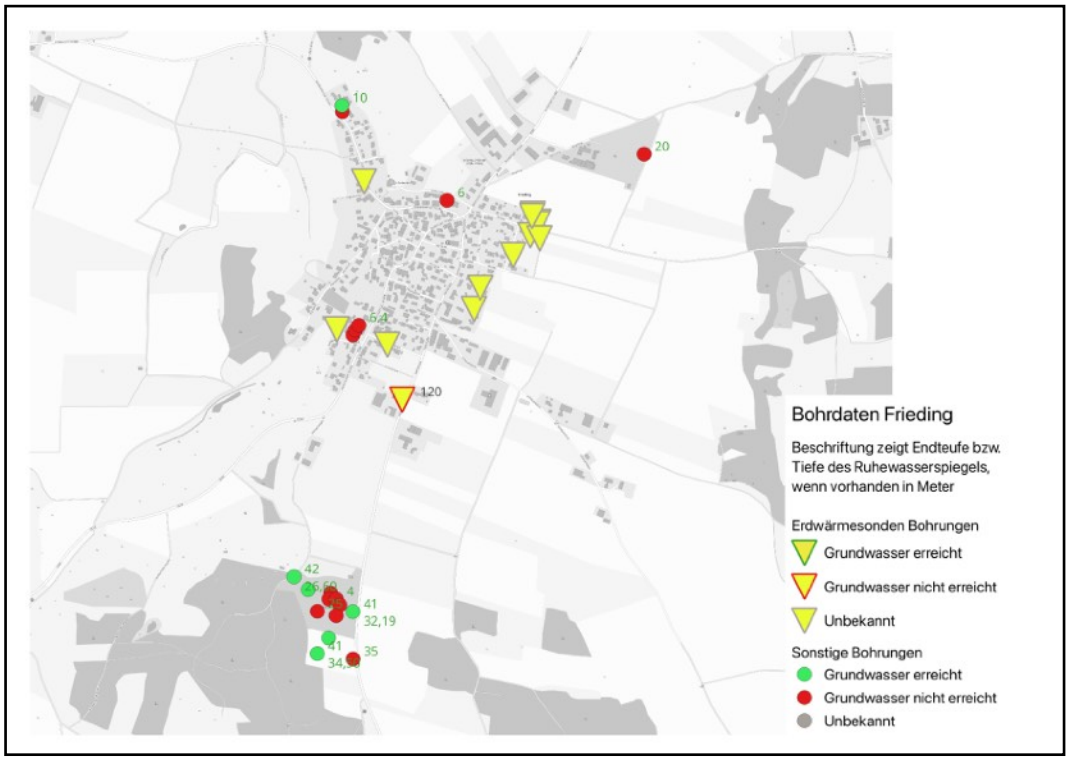
	Erling	Rothenfeld	Fieding	Machtlfing	Σ
Erdsonden	8	1	13	17	39
Grundwasserbohrungen für Grundwasser-Wärmepumpen	1	0	0	0	1

Bestand an Anlagen zur Nutzung oberflächennaher Geothermie.

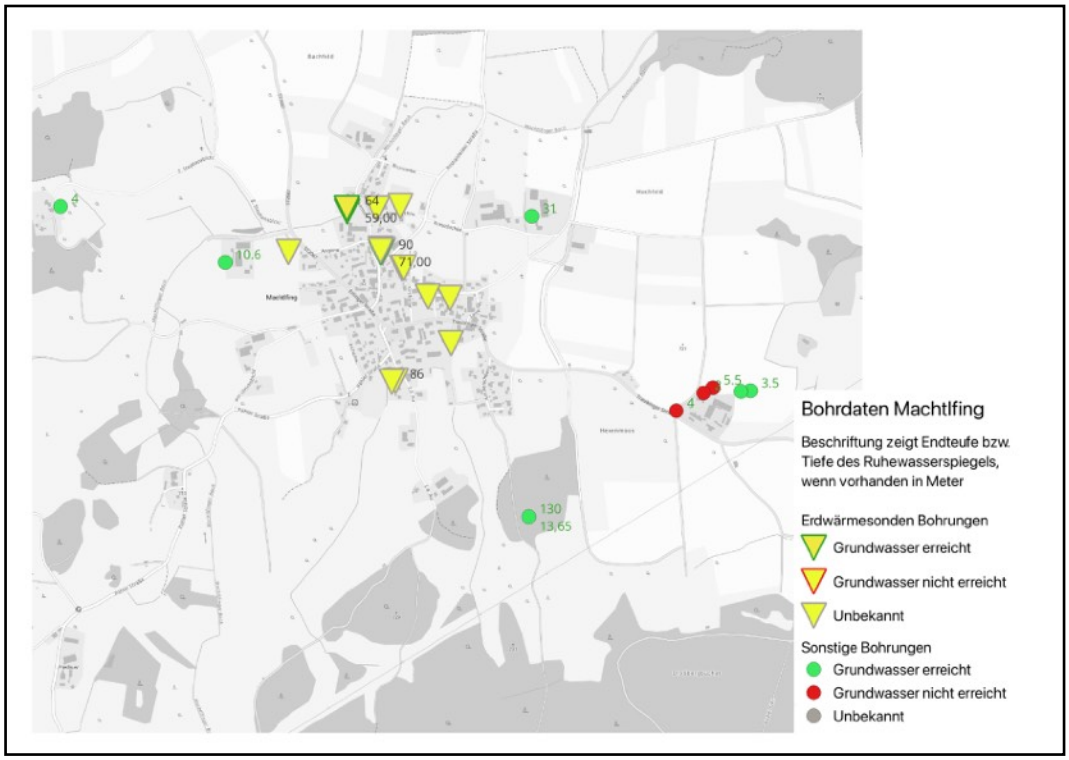
Bohrungen, bei denen das Grundwasser erreicht wurde, sind in nachfolgenden Abbildungen grün umrahmt. Wenn bekannt, sind Endteufe und Tiefe des Ruhewasserspiegels in Metern angegeben. Die Bestandsbohrungen zeigen, dass mit Ausnahme des Gebiets um Rothenfeld Grundwasser nicht erreicht worden ist oder in Tiefen unter 10 m liegt.



Bohrdaten im Gemeindegebiet Erling



Bohrdaten im Gemeindegebiet Frieding



Bohrdaten im Gemeindegebiet Machtlfing

5.3.4. Stromerzeugungsanlagen

Insofern besonders effiziente Formen der Wärmeversorgung, die Umweltwärmequellen wie Erdwärme, Grundwasserwärme und Luft oder Abwärmequellen wie Abwasser oder Lüftungsabwärme technisch nutzbar machen (Wärmepumpen also), elektrische Antriebsenergie benötigen und alle relevanten Szenarien einer Wärmewende zur klimaneutralen Versorgung maßgeblich auch auf Wärmepumpensystemen beruhen, ist es für eine Kommunalwärmeplanung auch relevant zu ermitteln, inwieweit und inwiefern dieser elektrische Antriebsstrom vor Ort aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden kann. Hier eine Bestandsaufnahme:

5.3.4.1. Photovoltaikanlagen

Auf dem Gemeindegebiet sind in den letzten Jahren zwei Freiflächen-Photovoltaikanlagen entstanden, eine genossenschaftliche Anlage in Frieding mit einer Leistung von ca. 1,0 MW_p und eine vergütungsrechtlich in zwei Teilanlagen geteilte private Anlage in Machtlfing mit einer Leistung von ca. 3,0 MW_p. Diese Anlagen speisen jährlich ca. 4.400 MWh Strom nach dem EEG-Marktprämienmodell in das öffentliche Netz ein. Der Strom wird kaufmännisch nicht vor Ort verbraucht, eine Zwischenspeicherung mit zweitversetzter Einspeisung erfolgt aktuell nicht. Am Netzanschlusspunkt der Friedinger FF-PV-Anlage wird ein Batteriespeicher zur Zwischenspeicherung und Wiedereinspeisung von kaufmännisch aus dem öffentlichem Netz bezogenem Strom genutzt (sog. Co-Location-Speicher), der prinzipiell auch kaufmännisch zur Zwischenspeicherung des vor Ort erzeugten PV-Stroms genutzt werden kann. Für die Zwischenspeicherung von sowohl EEG-gefördertem als auch nicht EEG-gefördertem Strom in ein und demselben Batteriespeicher hat der Bundesgesetzgeber erst jüngst die gesetzlichen Voraussetzungen (nach § 19 Abs. 3 EEG) geschaffen.

Die Gesamtleistung aller installierten Aufdach-Photovoltaikanlagen im Gemeindegebiet beträgt 6,1 MW_p.[21] Diese erzeugen jährlich etwa 5.500 MWh Sonnenstrom, so dass die PV-Gesamtproduktion mit ca. 9.900 MWh/a veranschlagt wer-

[21] Marktstammdatenregister, Stand April 2026.

den kann.[22] Dies entspricht jahresbilanziell etwa 77 Prozent des Gesamtstrombedarfs im Gemeindegebiet. Wichtig ist dabei die Einschränkung „jahresbilanziell“; der tatsächliche, d.h. zeitgleiche Deckungsanteil dürfte lediglich ca. 30 Prozent betragen (kann mangels Lastgangdaten des summierten Verbrauchs nur geschätzt werden). Insbesondere im Winter ist der Deckungsanteil deutlich geringer.

5.3.4.2. KWK-Anlagen

Insgesamt 18 Blockheizkraftwerke (BHKW) mit einer elektrischen Gesamtleistung von 1.202 kW_{el} erzeugen aktuell kombiniert Strom und Wärme (sog. Kraft-Wärme-Kopplung) überwiegend mit aus dem öffentlichen Netz bezogenem Erdgas. Die Jahresstromproduktion beträgt ca. 8.200 MWh_{el} bei einer kombinierten Wärmeproduktion von etwa 9.200 MWh_{th}.[23] Heraus sticht ein BHKW mit 999 kW elektrischer Leistung, das von einem industriellen Großverbraucher stromgeführt zur anteiligen Strom- und Wärmeeigenversorgung genutzt wird. Ein weiterer größerer Gewerbebetrieb versorgt sich mit drei BHKW mit jeweils 50 kW_{el} (Eigenversorgung mit Überschusseinspeisung). Hauptwärmeerzeuger eines kommunalen Wärmeverbunds ist ein BHKW mit 20 kW_{el}, dessen Strom vorrangig zur Eigenversorgung des Kommunalquartiers genutzt wird. Im Übrigen setzt sich der KWK-Anlagenbestand aus Klein- und Kleinstanlagen zusammen.

Es werden in Andechs aktuell keine KWK-Anlagen mit vor Ort erzeugter Biomasse oder Wasserstoff betrieben. Ob einzelne Anlagen vollständig oder anteilig mit aus dem öffentlichen Gasnetz bezogenem Biomethan betrieben werden, ist nicht bekannt.

Anlage	Energieträger	Elektrische Netto-Nennleistung (kW_{el})	Inbetriebnahme
1	Erdgas	0,8	2021
2	Erdgas	0,8	2021
3	Erdgas	0,8	2021
4	Erdgas	0,8	2021
5	Erdgas	0,8	2021
6	Erdgas	0,8	2021
7	Erdgas	0,8	2021
8	Erdgas	0,8	2021
9	Erdgas	5,3	2020
10	Mineralölprodukte	5,4	2020
11	Erdgas	5,5	2005
12	Erdgas	5,5	2021
13	Erdgas	5,5	2021
14	Erdgas	20,0	2019
15	Erdgas	50,0	2021
16	Erdgas	50,0	2021
17	Erdgas	50,0	2020
18	Erdgas	999,0	2021
Σ		**1.202,2**	

Bestand an KWK-Anlagen.

[22] Im Energieatlas Bayern wird hier eine wesentlich geringere Summe / ein wesentlich geringerer Anteil angegeben. Hier scheinen vor allem die FF-PV-Anlagen noch nicht berücksichtigt zu sein.

[23] Hochrechnungen.

5.3.4.3. Sonstige Stromerzeugungsanlagen

Wasserkraftanlagen, Windenergieanlagen, Biomasse-Stromerzeugungsanlagen, geothermische oder sonstige Stromerzeugungsanlagen gibt es in Andechs derzeit keine.

5.3.5. Sonderfall industrieller Großverbraucher

Ein industrieller Großverbraucher repräsentiert 37 Prozent des gesamten Wärme- und rund 70 Prozent des gesamten Erdgasverbrauchs des Gemeindegebiets. Seine Wärmeversorgung beruht auf einer vergleichsweise komplexen, auf betriebliche Abläufe abgestimmten Infrastruktur. Hauptwärmeversorger sind ein Erdgas-BHKW und eine Erdgas-Kesselanlage. Der Betrieb benötigt aktuell Sattdampf bei 10 bar Druck. Kleinere Anteile des Wärmebedarfs (in absoluten Zahlen jedoch relevante Mengen) werden mit Abwärme einer Druckluftanlage gedeckt. Zur Optimierung der betrieblichen Kälteversorgung wird aktuell eine Absorptionskälteanlage nachgerüstet, was ceteris paribus den Strombedarf mindern und den Erdgasbedarf erhöhen wird. Weniger als fünf Prozent des Gesamtwärmebedarfs entfallen auf die Raumwärmeversorgung.

Wesentlich für die Entwicklung der Wärmeversorgung des Standorts ist die Anforderung einer Dampfversorgung, also ein vergleichsweise sehr hoher Temperaturbedarf technisch erzeugter Wärme. Der jährliche Wärmeverbrauch dieses Temperaturniveaus beträgt aktuell 4.800 MWh_{th}/a. Nach Angabe des Betreibers werden derzeit konkrete Anstrengungen unternommen, den Dampfbedarf zu mindern und Dampfverbraucher auf eine Heizwasserversorgung umzustellen. Hierzu lagen zu Redaktionsschluss noch keine finalen Ergebnisse vor.

Am Standort gibt es relevante, bislang ungenutzte Abwärmepotenziale. Neben der Abwärme von Dampf-Kondensatabscheidern und bislang ungenutzter Abgaswärme besteht dies vor allem in einer jährlichen Mengen in einer Betriebskläranlagen (vor-)geklärten Abwassers („Klärwassers“) von ca. 200.000 Kubikmetern, die mit einer Temperatur von ca. 31 °C in öffentliche Abwasserentsorgungsinfrastruktur eingeleitet wird (vgl. hierzu ausführlich im Folgekapitel 6).

5.3.6. Sonstige Energieinfrastruktur

Leistungsgebundene Kälteinfrastruktur, zentrale Wärme- und Gasspeicher oder Anlagen zur Produktion von Biogases, Wasserstoff oder synthetischen Gasen sind im Gemeindegebiet aktuell nicht vorhanden.

5.4. Räumliche Verteilungen und Wärmekataster

Für die Frage, ob in einzelnen Teilgebieten netzgebundene Wärmeversorgungslösungen grundsätzlich sinnvoll darstellbar sein können, muss die räumliche Verteilung von Verbräuchen und Arten der Versorgung bekannt sein. Deshalb wurden auf Grundlage aufwändiger Datenerhebung für die einzelnen Gemeindeteile folgende Wärmekataster erstellt. Diese unterscheiden sich im Detail von den im bayerischen Energieatlas[24] dargestellten Karten, da diese (vgl. Kapitel 3) vorzugsweise auf gemessenen Verbrauchsdaten beruhen, anhand der Gasinfrastrukturpläne eine gebäudescharfe Zuordnung vorgenommen wurde und aus ALKIS- und Zensusdaten sowie gebäudetypologisch spezifischen Wärmebedarfskennwerten hochgerechnete Werte mit aus den Kehrbuchdaten entnommenen Heizleistungsangaben und gebäudetypologisch spezifischen Vollbenutzungsstunden von Zentralheizanlagen validiert worden sind.

5.4.1. Dominierende Art der Wärmeversorgung

Soweit kartographisch zuordenbar, dominieren in der überwiegenden Anzahl der Baublöcke derzeit fossile Formen der Wärmeversorgung. Das gilt für die einzelnen Gemeindeteile grundsätzlich in gleicher Weise. Nachfolgende Karten zeigen die Details.

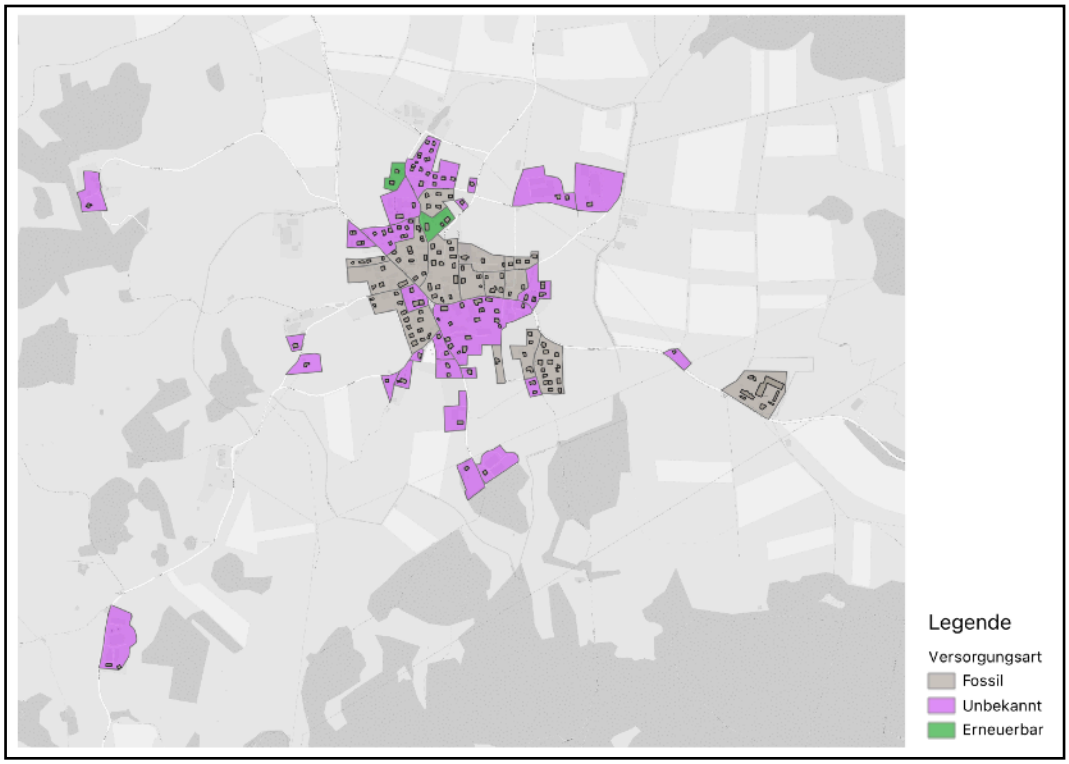
[24] https://www.karten.energieatlas.bayern.de.



Dominierende Versorgungsart nach Baublöcken in Erling und Rothenfeld.



Dominierende Versorgungsart nach Baublöcken in Frieding

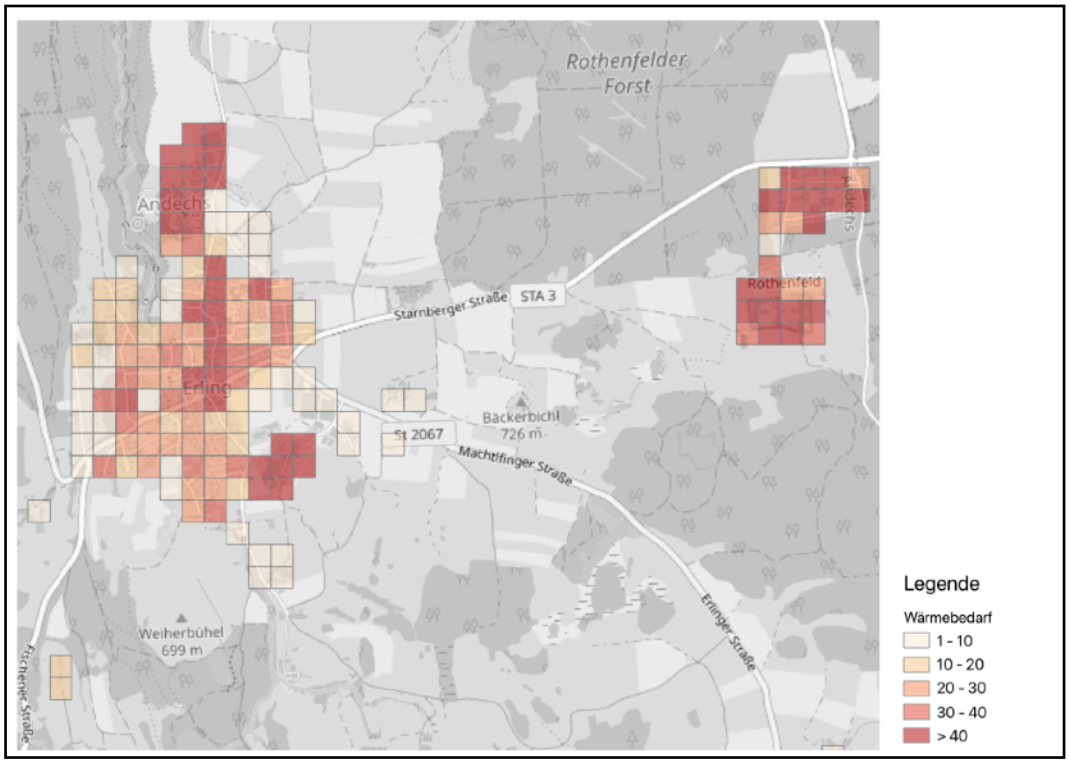


Dominierende Versorgungsart nach Baublöcken in Machtlfing

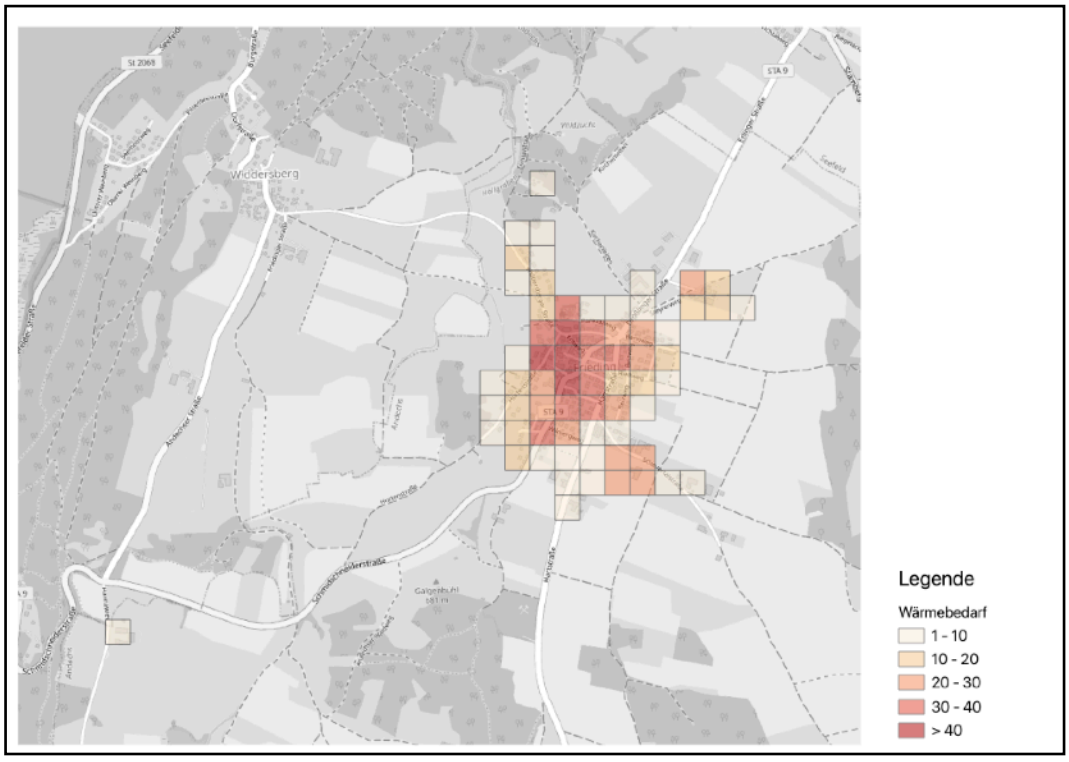
5.4.2. Wärmedichte

Für die Frage der Sinnhaftigkeit netzgebundener Wärmeversorgungslösungen ist die sog. Wärmedichte wesentliches Eignungskriterium. In erster Näherung wird sie flächenbezogen in kWh_{th} pro Hektar erfasst, nachstehende Abbildungen zeigen die Ergebnisse für Raster von 100 x 100 Metern Grundfläche und – verfeinert – auf Baublockebene. Unter Zugrundelegung grundsätzlich möglicher, öffentlichen Wegen folgender Wärmenetztrassen wird schließlich die sog. Wärmeliniendichte in kWh_{th} pro Trassenmeter angegeben. Je höher die Wärme(linien)dichte, desto höher ceteris paribus die Gebietseignung für eine Wärmenetzversorgung. Je geringer die Wärme(linien)dichte, umso höher die prozentualen Wärmeverluste und umso höher ceteris paribus die spezifischen (Mehr-)kosten gegenüber dezentralen Versorgungslösungen. Dies schlägt umso mehr zu Buche, je höher die Betriebstemperaturen der jeweiligen Wärmenetze sind. Herkömmliche Wärmenetzen mit einer Auslegungstemperatur von ca. 80 °C im Heizwasser-Vorlauf, wie sie für älteren Gebäudebestand in der Regel erforderlich sind, erfordern für einen effizienten und wirtschaftlichen Betrieb eine höhere Wärmedichte als sog. kalte Wärmenetze, die mit 40 °C oder noch weniger im Heizwasser-Vorlauf auskommen (wobei das Temperaturniveau für die den Hygienevorschriften entsprechende Trinkwarmwasserversorgung bedarfsweise dezentral z.B. mittels sog. Booster-Wärmepumpen angehoben wird). Als grobe Richtschnur kann gelten, dass herkömmliche (vergleichsweise warme) Wärmenetze eine Wärmedichte von mindestens 250 MWh/(ha*a)[25] erfordern.

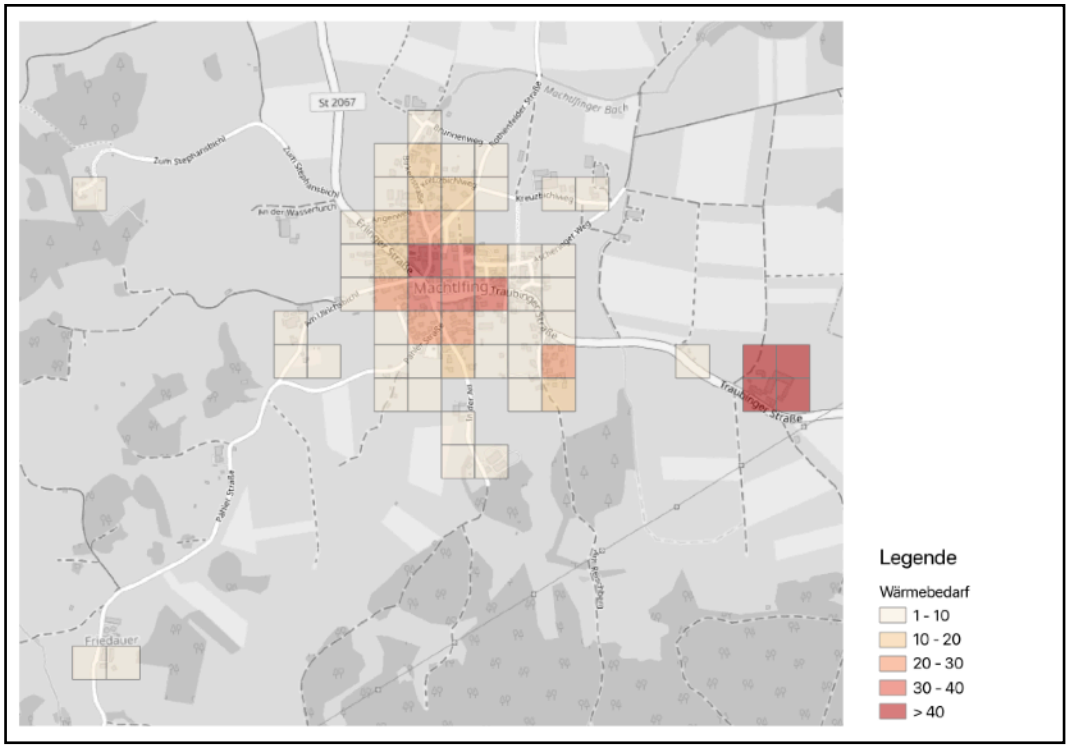
[25] Leitfaden Wärmeplanung (BMWK & BMWSB, 2024a).



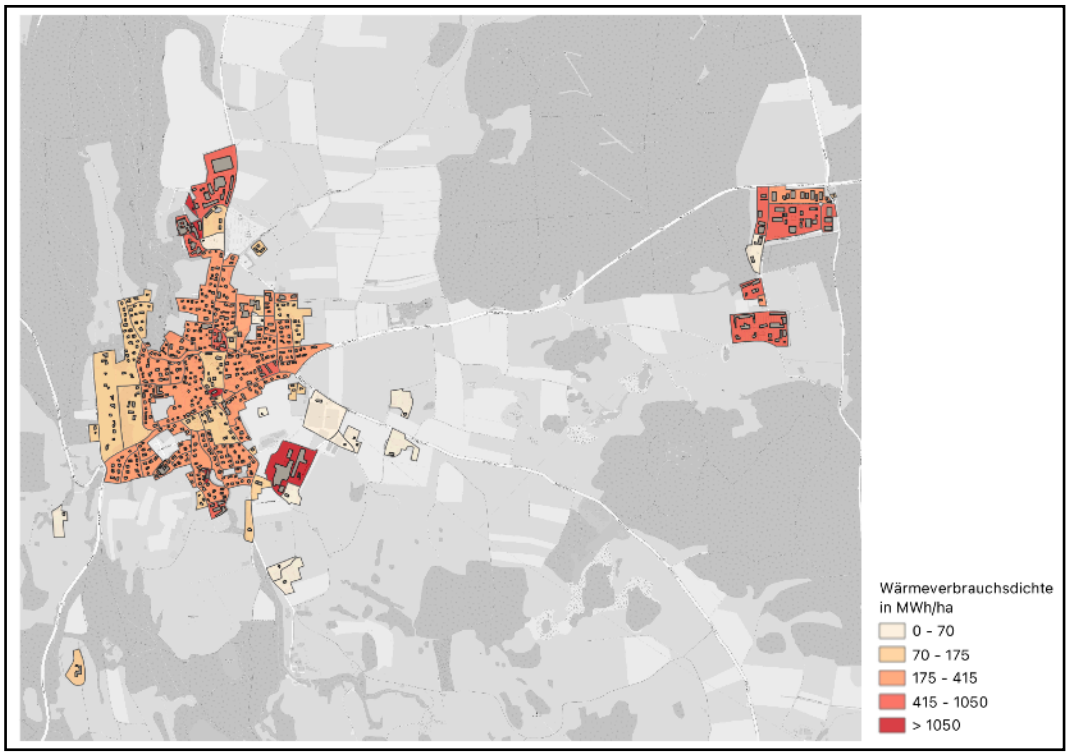
Wärmedichte in 100 x 100 m Rastern (MWh/ha) in Erling und Rothenfeld



Wärmedichte in 100 x 100 m Rastern (MWh/ha) in Frieding



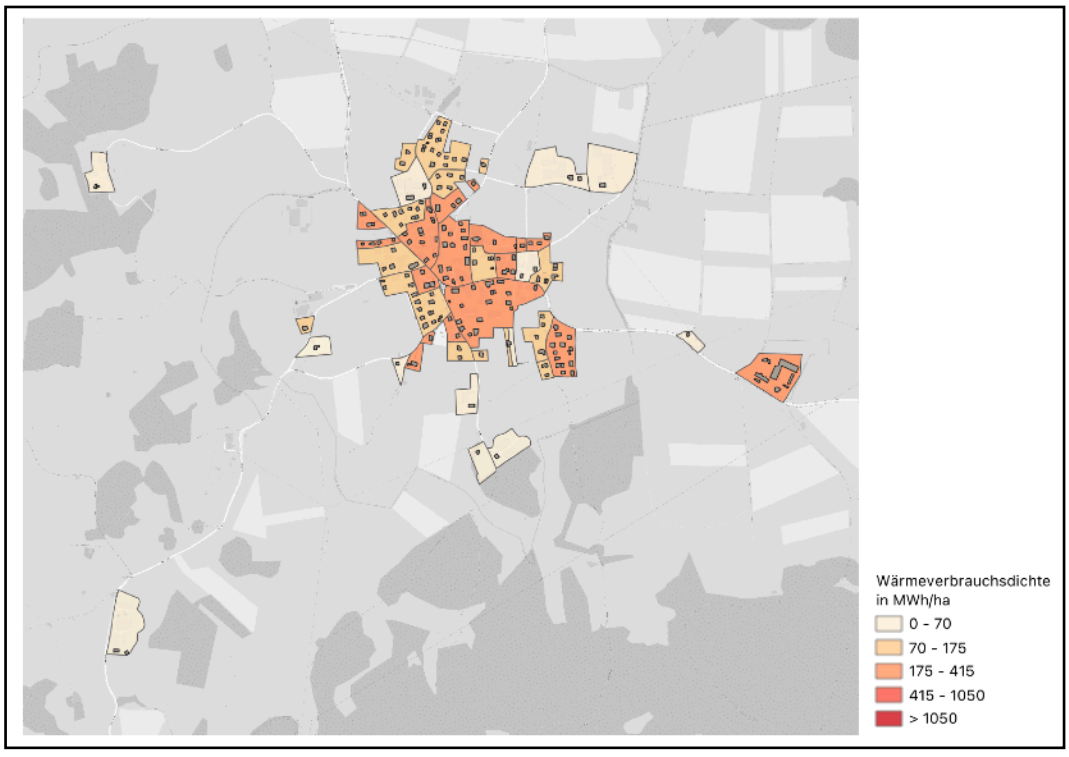
Wärmedichte in 100 x 100 m Rastern (MWh/ha) in Machtlfing



Wärmedichte auf Baublockebene (in MWh/ha) im Gemeindegebiet Erling und Rothenfeld



Wärmedichte auf Baublockebene (in MWh/ha) im Gemeindegebiet Frieding



Wärmedichte auf Baublockebene (in MWh/ha) im Gemeindegebiet Machtlfing

5.4.3. Wärmeliniendichte

Mit der Wärmeliniendichte wird die Verteilung des Wärmebedarfs entlang von theoretischen Wärmenetztrassen spezifiziert. Sie wird in der Einheit Megawattstunden pro Trassenmeter und Jahr quantifiziert und liefert einen zentralen Indikator für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes. Eine höhere Wärmeliniendichte bedeutet, dass mehr Wärme pro Meter Leitung transportiert wird. Dies reduziert spezifische Verteilverluste und Kosten. Als grobe Richtschnur kann gelten, dass herkömmliche (vergleichsweise warme) Wärmenetze eine Wärmeliniendichte von mindestens einer Megawattstunde pro Meter und Jahr erfordern. Förderprogramme fordern teilweise 1,5 $MWh_{th}/(m*a)$; die wichtige Bundesförderung effizienter Wärmenetze macht hingegen diesbezüglich keine Vorgaben. In nachfolgenden Darstellungen sind die Wärmeliniendichten für die Gemeindegebiete Erling, Rothenfeld, Frieding und Machtlfing dargestellt. Für jeden Straßenabschnitt berechnet sich die Wärmeliniendichte aus der Summe der Nutzenergie eines jeden in dem jeweiligen Abschnitt angeschlossenen Gebäudes geteilt durch die Leitungslänge des jeweiligen Abschnitts. Berücksichtigt (jedoch kartographisch nicht dargestellt) wurden hier auch die Trassenlängen erforderlicher Hausanschlussleitungen.

Wesentliche Erkenntnis der Darstellungen: Relevante Teile Erlings und Friedings weisen eine vergleichsweise hohe Wärmeliniendichte auf, die eine netzgebundene Wärmeversorgung grundsätzlich sinnvoll darstellbar erscheinen lassen. Gleiches gilt für das Gewerbeareal Rothenfeld samt Justizvollzugsanstalt. Eine überwiegend nur geringe Wärmeliniendichte weist hingegen Machtlfing auf; eine sog. Dorfheizung (Wärmenetzversorgung) hätte hier keine guten infrastrukturellen Voraussetzungen und es sollte insofern eher auf dezentrale Versorgungslösungen gesetzt werden.



Wärmeliniendichte im Gemeindeteil Erling und Rothenfeld



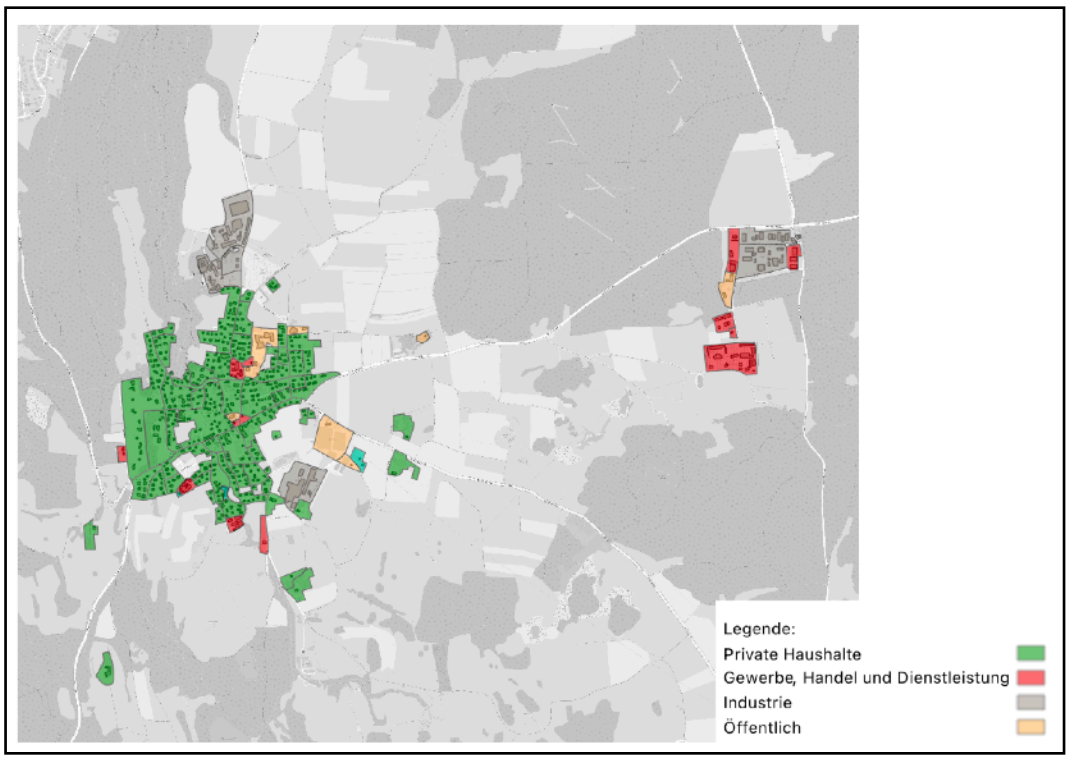
Wärmeliniendichte im Gemeindeteil Frieding



Wärmeliniendichte im Gemeindeteil Machtlfing

5.4.4. Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands

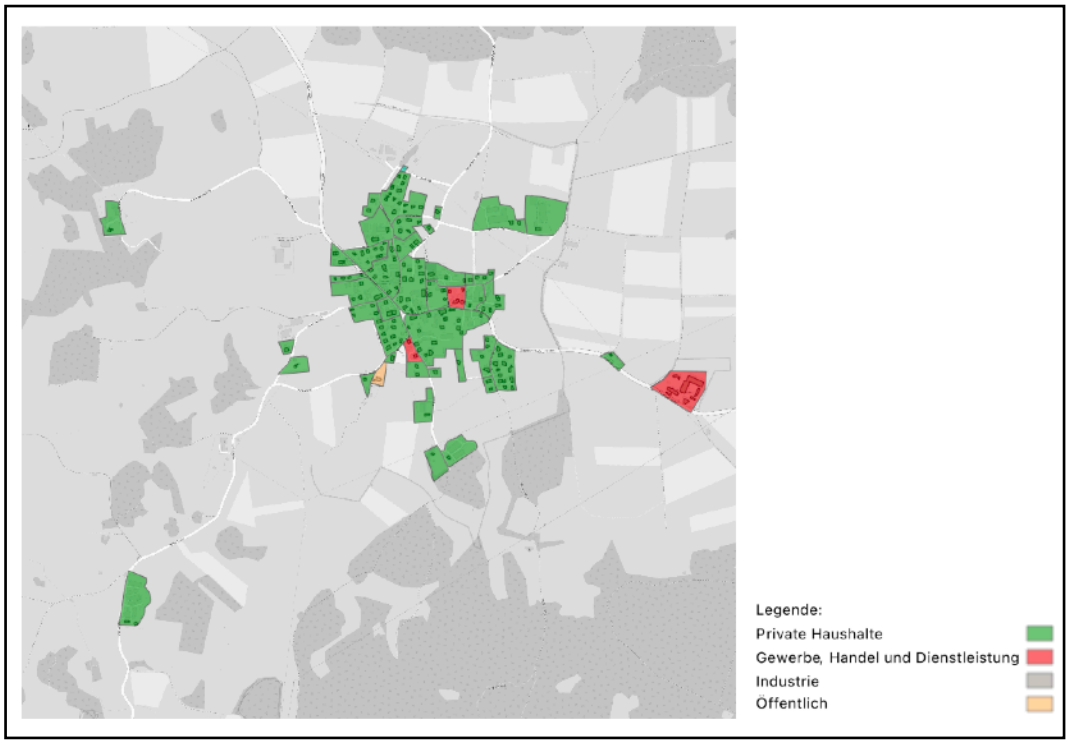
Wärmebedarfslastgänge (d.h. die Verteilung des Wärmebedarfs im Jahresverlauf) unterscheiden sich zwischen Gebäudetypen des Wohnens und Nichtwohnens, zwischen privater, öffentlicher und gewerblicher oder industrieller Nutzung. Insofern ist es eine relevante Informationen, welche Sektoren in den einzelnen Baublöcken vorherrschend sind. Nachfolgende Abbildungen geben darüber Auskunft.



Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands nach Sektoren in den Gemeindegebieten Erling und Rothenfeld.



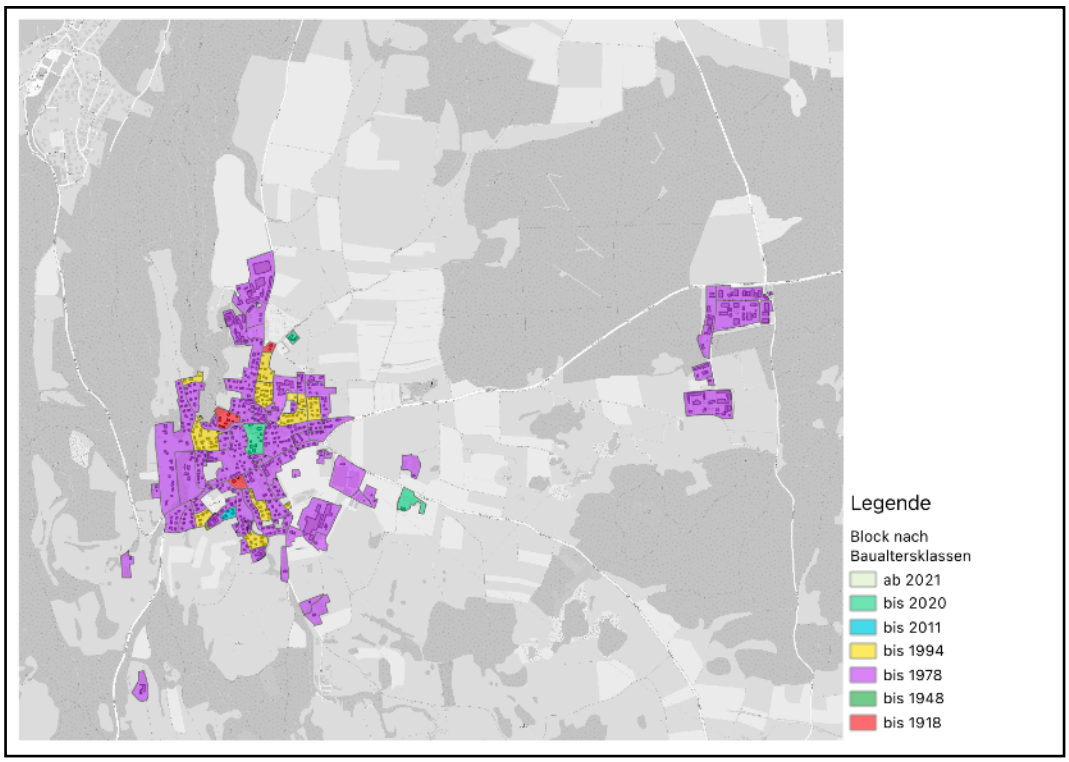
Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands nach Sektoren im Gemeindegebiet Frieding.



Hauptnutzungsarten des Gebäudebestands nach Sektoren im Gemeindegebiet Machtlfing

5.4.5. Vorherrschende Baualterklassen

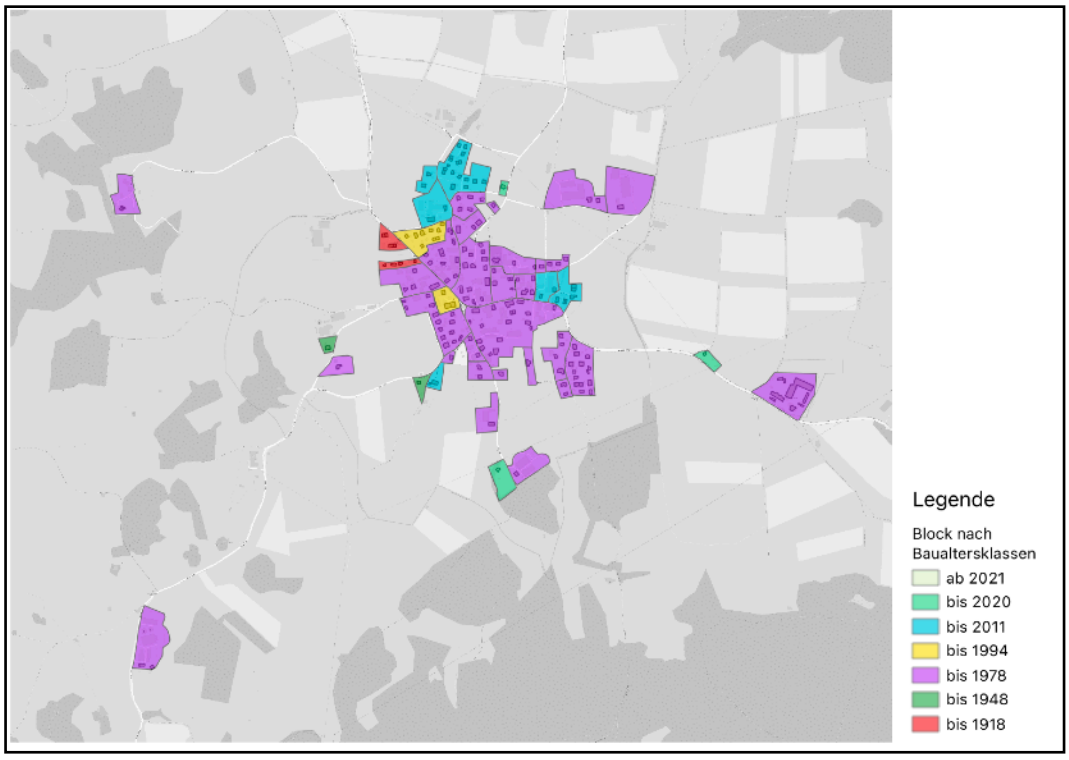
Es besteht eine hohe Abhängigkeit zwischen dem durchschnittlichen flächenspezifischem Wärmeverbrauch und der Baualtersklasse eines Gebäudes. Nachfolgende Abbildungen stellen dar, welche Baualtersklasse auf Baublockebene jeweils vorherrschend sind.



Baualtersklassen in den Gemeindegebieten Erling und Rothenfeld.



Baualtersklassen im Gemeindegebiet Frieding.

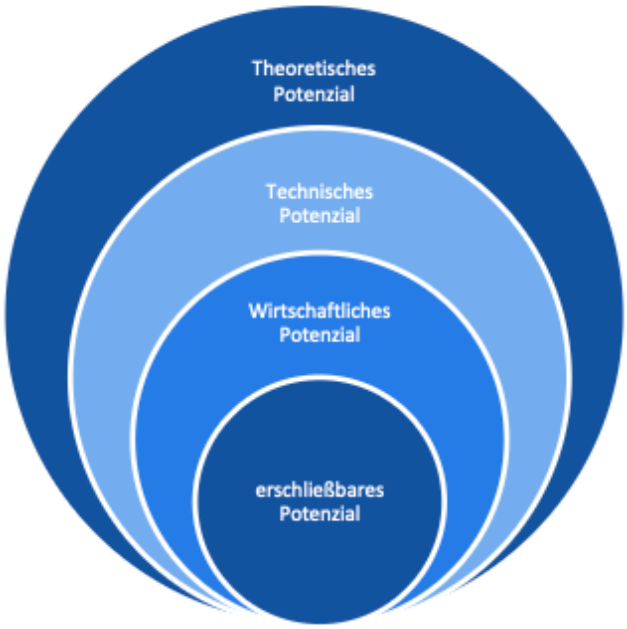


Baualtersklassen im Gemeindegebiet Machtlfing.

6. Potenzialanalyse

Jährlich 14.131 Tonnen CO_2-Äquivalente sind es nach der Ausgangs-Treibhausgasbilanz also, um die die Emissionen auf dem Gebiet der Gemeinde Andechs bis zum Zieljahr 2045 zu mindern sind. Eine Herkulesaufgabe. Sinnvoll kann das nur in einem Zweischritt gelingen: Die Wärme- und Endenergiebedarfe sollten wo technisch machbar und wirtschaftlich tragfähig reduziert werden. Nach dem Motto: Die beste Kilowattstunde wird nicht verbraucht. Der Wärmebedarf eines Gebäudes kann neben einer Änderung des Nutzerverhaltens (z.B. Stoßlüften statt Dauerlüften), steuerungstechnischen Optimierungen (z.B. Nachtabsenkung) und einer Minderung von Komfortanforderungen (Absenken von Raumtemperaturen) im Wesentlichen nur durch Gebäudehüllensanierung wirksam gesenkt werden. Für einen insofern geminderten Wärmebedarf stellt sich sodann die Anschlussfrage, unter Einsatz welcher Endenergien er klimaneutral gedeckt werden kann – und wie diese möglichst effizient eingesetzt werden können. Die Effizienz des Endenergieeinsatzes ist eine Funktion des Umwandlungswirkungsgrads (Jahresnutzungsgrads) des Wärmeerzeugungssystems und kann hydraulisch, steuerungstechnisch, durch die Vermeidung von Wärmeverlusten, die Rückführung von Abwärme und durch geeignete Leistungsauslegung der Anlagentechnik optimiert werden. Vor dem Hintergrund wird im Folgenden zunächst das Potenzial zur Wärmebedarfsreduktion im Gebäudebestand und nachfolgend der verfügbare Ressourcenbestand erneuerbarer Wärmequellen und das nutzbare Abwärmepotenzial analysiert. Näheres zur Effizienz und Optimierung von Wärmeerzeugungssystemen in Kapitel 8.

Zunächst zur Klärung des Potenzialbegriffs. Wie die Abbildung zeigt, ist stets nur ein Teil des theoretischen Gesamtpotenzials technisch nutzbar, davon nur ein Teil wirtschaftlich darstellbar und davon wiederum aufgrund bau-, immissions-, natur- oder wasserschutzrechtlicher, politischer, sozialer oder sonstiger Vorschriften, Interessen, Widerstände und Gegenmächte in der Regel nur ein Teil praktisch erschließbar. Vorliegende Wärmeplanung, die sich als langfristig wirksames strategisches Planungselement versteht, bezieht sich dabei sinnvollerweise vornehmlich auf das technische Potenzial bei qualitativer Bewertung der wirtschaftlichen Tragfähigkeit und praktischen Erschließbarkeit unter gegenwärtigen Bedingungen und unter bestimmten Trendannahmen im Zeitablauf.



Betrachtungsebenen von Energiepotenzialen nach Hamacher, Thomas & Hausladen, Gerhard (2011)

Zu vermerken sei noch, dass das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, § 2) der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen erneuerbarer Energien sowie den dazugehörigen Nebenanlagen ein überragendes öffentliches Interesse zuschreibt: *„Bis die Stromerzeugung im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangige Belange in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden“*.

6.1. Wärmebedarfsreduktion

Die beste Energie ist diejenige, die nicht verbraucht wird. Dieses Prinzip sollte an erster Stelle stehen, wenn es darum geht, Strategien für die Transformation der Wärmeversorgung zur Nachhaltigkeit zu entwickeln. Von der technische Seite her ist vieles möglich, doch die große Herausforderung stellt das Verbrauchsverhalten aller Bereiche der Gesellschaft dar. Im Gegensatz zur Energieerzeugung ist beim Einsparen von Energie jeder gefragt. Hier gibt es sicherlich viel Luft nach oben, denn neben dem privaten Bereich sind auch Unternehmen, Politik und Verwaltung dazu aufgefordert, entsprechend ihrer jeweiligen Möglichkeiten sparsam mit Energie umzugehen. Die Europäische Energie-Effizienzrichtlinie sieht vor, dass bis zum Jahr 2030 der Primärenergieverbrauch in der EU um mindestens 40 Prozent und der Endenergieverbrauch um mindestens 38 % gegenüber dem Refernzszenario 2007 gesenkt werden soll.

In Deutschland verfehlt der Gebäudesektor seit Jahren die gesteckten CO_2-Einsparziele der Bundesregierung. Die Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ der Deutschen Energieagentur (dena) aus dem Jahr 2022 besagt, dass jährlich 1,7 bis 1,9 Prozent der Wohngebäude saniert werden müssten, damit der Gebäudebestand bis 2045 klimaneutral werden kann. Tatsächlich liegt die Sanierungsquote im deutschen Wohnbau aktuell deutlich darunter und war zuletzt sogar noch rückläufig (2024: 0,69 %, 2025 bei 0,67 %); nicht wesentlich besser der Bereich des Nichtwohnbaus (2024: 0,95 %; 2025: 0,92 %).

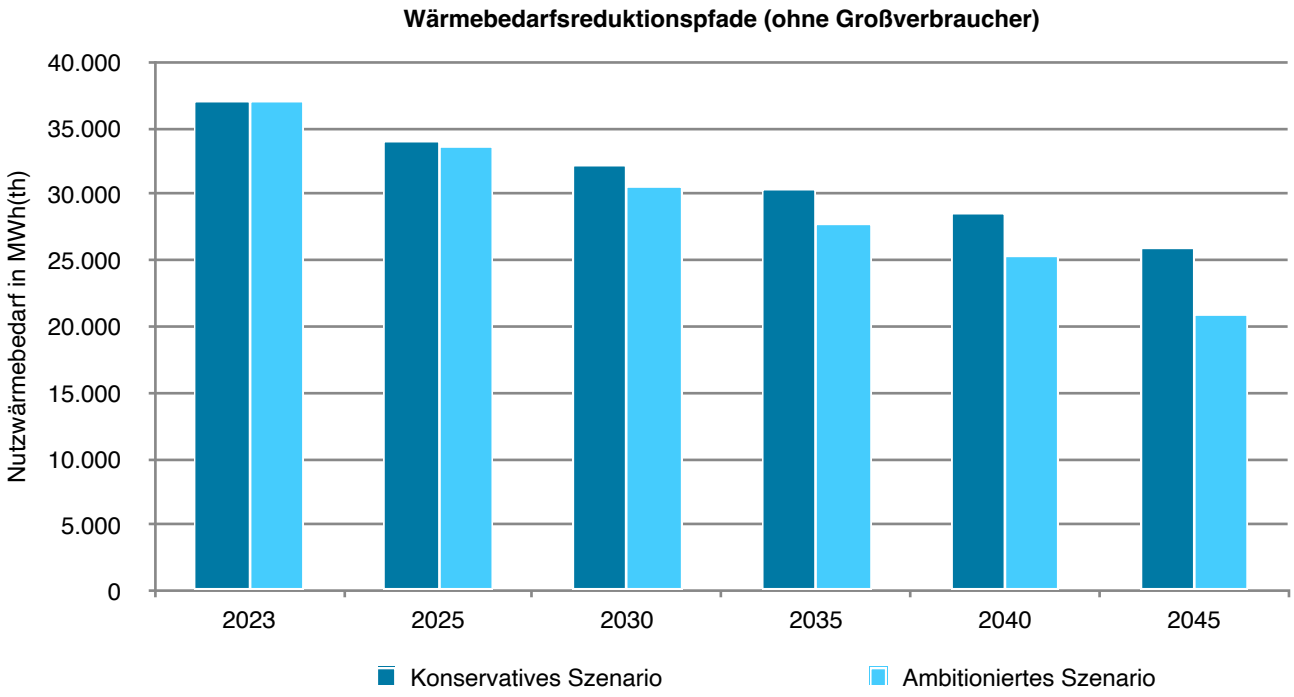
Als Referenz für ein saniertes Gebäude gilt das Niveau eines KfW-Effizienzhauses 100 mit einem Wärmebedarf von ca. 70 kWh/(m²*a). Nicht bei jedem älteren Gebäude kann aus wirtschaftlichen und bauphysikalischen Gründen eine vollständige Sanierung durchgeführt werden. Das größte Potenzial liegt bei Gebäuden aus den 1960er bis 1980er Jahren. Die bauphysikalischen Eigenschaften dieser Gebäude sind häufig sehr schlecht und mit Sanierungen z.B. in Form von Fenstertausch, Fassadendämmung oder Dachsanierung können in der Regel vergleichsweise hohe Energieeinsparungen erzielt werden. Solche Gebäudehüllensanierungen sind jedoch grosso modo sehr kapitalintensiv und die Investitionen amortisieren sich unter gegebenen Bedingungen regelmäßig nur langfristig, was auch die Bundesförderung effizienter Gebäude trotz hoher Förderintensität oder andere Förderprogramme nur teilweise kompensieren können und viele Gebäudeeigentümer vor einer Investitionsentscheidung zurückschrecken lässt. Zumal aufgrund unsteter Gesetzgebung und tiefgreifender politischer Auseinandersetzungen im Bereich des Energieeffizienzrechts Investitionssicherheit zuletzt nur bedingt gegeben war.

Das Projekt „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ modelliert im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie die künftige Entwicklung des Energiesystems zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele des Bundes in verschiedenen Szenarien. Der sehr ambitionierte Pfad „T45-Strom“ setzt auf hohe Gebäudeeffizienz und eine weite Verbreitung elektrischer Wärmepumpen. Es wird von einem erhöhten Sanierungsgrad mit Maßnahmen wie dem vorgezogenen Austausch von Bauteilen oder dem verstärkten Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ausgegangen, die die Energieeffizienz erhöhen. Das alternative Szenario „T45-RedEff“ legt ebenfalls eine starken Fokus auf elektrische Wärmepumpen, jedoch ohne tiefgreifende Sanierungsmaßnahmen, so dass nur ein moderates Level an Gebäudeeffizienz erreicht wird. Entsprechend wird der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser bis 2045 in diesem Modell „nur“ um 35 Prozent gegenüber dem Jahr 2008 gemindert, im T45-Strom-Szenario sind es 13 Prozentpunkte mehr.

Dabei ist ein Zusammenhang von ganz grundlegender Bedeutung: Nachhaltiges Potenzial erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung besteht im Wesentlichen in (anergetischen) Umweltwärmequellen (vgl. unten), die mittels Wärmepumpen technisch nutzbar, d.h. auf ein zur Gebäudebeheizung nutzbares Temperaturniveau angehoben werden. Der Grad der Nutzbarmachung ist dabei vom Temperaturhub abhängig, von der Differenz der Heizwassertemperatur, die die Wärmepumpen erzeugen muss, und der Temperatur der Umweltquellen, die sie nutzt. Je höher diese Differenz, umso weniger (prinzipiell frei verfügbare) Umweltwärme kann genutzt und umso mehr (hochwertiger) elektrischer Strom muss dem Prozess zugeführt werden.[26] Deshalb sind auch die Wärmegestehungskosten eine Funktion der Temperaturdifferenz. Das bedeutet: Ein Entwicklungsszenario, das maßgeblich die Erschließung von Umweltwärme mittels Wärmepumpen abbildet, ist wesentlich davon abhängig, dass die zu beheizenden Gebäude in der Breite mit vergleichsweise geringen Heizwassertemperaturen beheizt werden können, mithin einen entsprechend hohen Sanierungsgrad aufweisen. Herkömmliche Radiatoren in im Wesentlichen schlecht gedämmten Häusern aus den Nachkriegsjahrzehnten benötigen in der Regel Heizwasservorlauftemperaturen, die Wärmepumpen nur mit geringer elektrischer Effizienz und zu hohen Kosten erzeugen können. Auf den Punkt gebracht: Eine wesentlich auf Umweltwärmequellen nutzende Wärmepumpen beruhende Wärmeversorgungsstrategie ist ohne breite Sanierung des Gebäudebestands nicht (sinnvoll) zu haben. Entsprechend liegt auch der für die Wärmeversorgung benötigt Stromverbrauch des Jahres 2045 im „T45-RedEff“-Szenario um 37 Prozent höher als im Szenario mit höherer Sanierungsrate („T45-Strom“).

[26] Vereinfachte Darstellung. Es gibt Wärmepumpen-Kältemittel, für die dieser Zusammenhang so nicht gilt (z.B. CO_2). Für die Breite Masse der heute verfügbaren Technologie trifft es jedoch zu.

Um die Zielwerte dieser Szenarien bis 2045 in Andechs zu erreichen, müssen jedes Jahr durchschnittlich 1,4 % (T45-Strom) bzw. 1,0 % (T45-RedEff) der Gebäude saniert werden. Nachfolgende Abbildung zeigt diesen Reduktionspfad für den Andechser Gebäudebestand (ohne prozesswärmeintensive industrielle Großverbraucher).

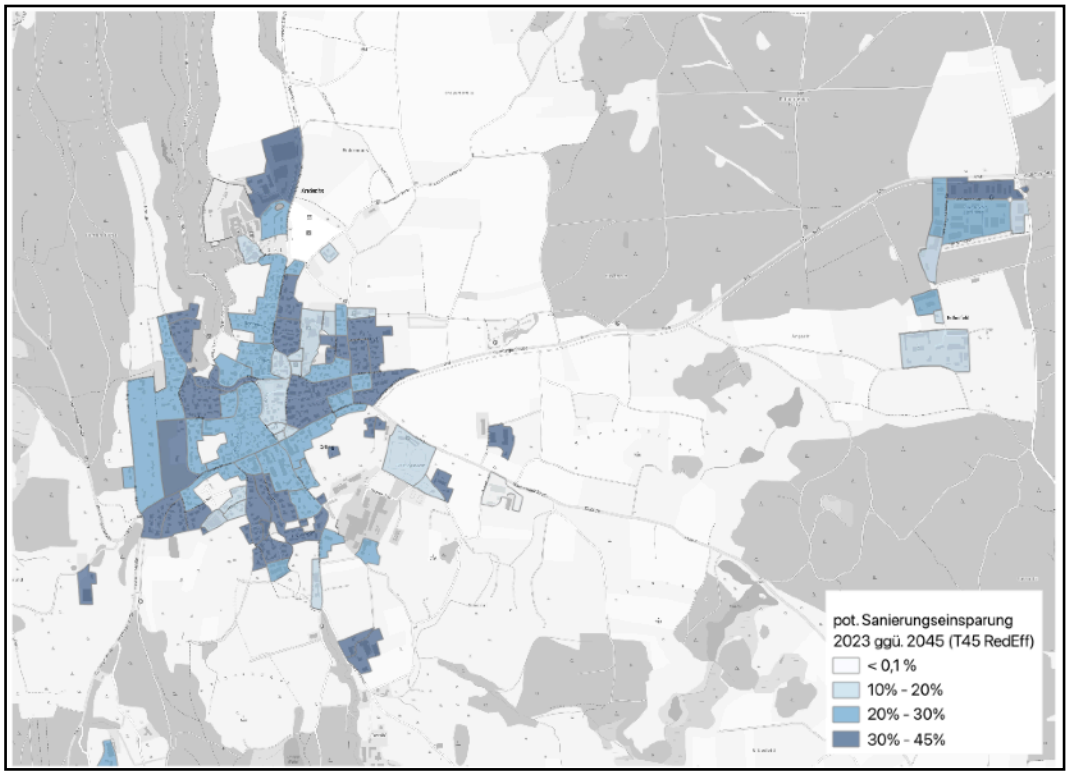


Bei einer ambitionierten, dem Modell „T45-RedEff“ entsprechenden Sanierungsquote lässt sich der Gesamtwärmebedarf aller beheizten Bestandsgebäude (ohne industrielle Großverbraucher) bis zum Jahr 2045 um rund 44 Prozent reduzieren. Gelänge es, den Gebäudebestand auf die Zielwerte des Szenarios zu sanieren, ließe sich der Endenergiebedarf der Wärmeversorgung um ca. 10,9 GWh_{hi} mindern.

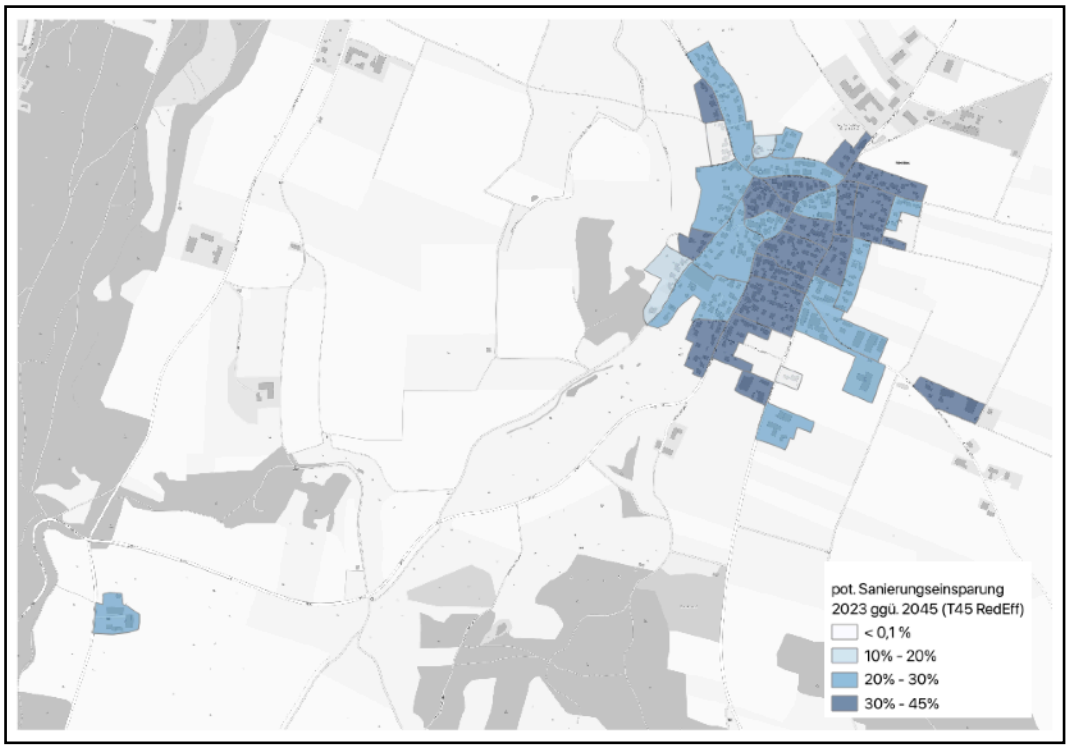
Mit Ausnahme einiger weniger Baugebiete, die in etwa ab dem Jahr 2010 erschlossen worden sind, gibt es in ganz Andechs ein hohes Wärmeenergieeinsparpotenzial. In nachfolgenden Abbildungen ist dargestellt, in welchen Gebieten sich besonders hohe Energieeinsparungen durch Sanierung erzielen lassen. Im Wesentlichen sind das die Gemeindeteile, in denen sich Gebäude mit Baualtersklassen bis 1980 häufen. Dies trifft für etwa 70 Prozent des Gebäudebestands zu. Hier sind durch energetische Gebäudesanierung besonders große Einsparungen möglich. Einzelne Gebäudeeigentümer solche Sanierungen bereits getätigt haben, die vom diesen Darstellungen zugrundeliegenden Datenbestand nicht erfasst sind. Das sind die Grenzen auf Allgemeindaten beruhender Kartographie. Im Großen und Ganzen aber sind die Ergebnisse belastbar.

Ein durchschnittliches Einfamilienhaus aus den 1960er Jahren hat einen Heizwärmebedarf von etwa 180 kWh/(m²*a). Mit grundlegender Sanierung, bestehend aus aktuellem Standard entsprechender Dämmung der Außenwände, des Dachs oder der obersten Geschossdecke, Erneuerung der Fenster und einer wärmerückgewinnenden Lüftungsanlage, lässt sich dieser Bedarf um zwei Drittel auf etwa 60 kWh/(m²*a) reduzieren.[27] Solche Maßnahmen sind kapitalintensiv und die Amortisationszeiten können (abhängig von Preisentwicklungsannahmen) vergleichsweise lang sein. Vor allem ältere Gebäudeeigentümer schrecken regelmäßig davor zurück. Bei im Zeitablauf z.B. durch zunehmende CO_2-Abgabenbelastung stark steigenden Fossilenergiepreisen kann diese Investition, die vor allem durch die Bundesförderung effizienter Gebäude aktuell bezuschusst werden kann, allerdings auch sehr lohnend sein. Sie senkt die laufenden Kosten der Gebäudewärmeversorgung und schafft die Voraussetzungen dafür, durch den Einsatz Umweltwärmequellen nutzende Wärmepumpen – idealerweise in Verbindung mit Photovoltaikstromerzeugung und Batteriespeicherung – von den Preisentwicklungen auf den Märkten für Heizöl und Erdgas weitgehend unabhängig zu werden. Zudem erhöht sich der Wohnkomfort.

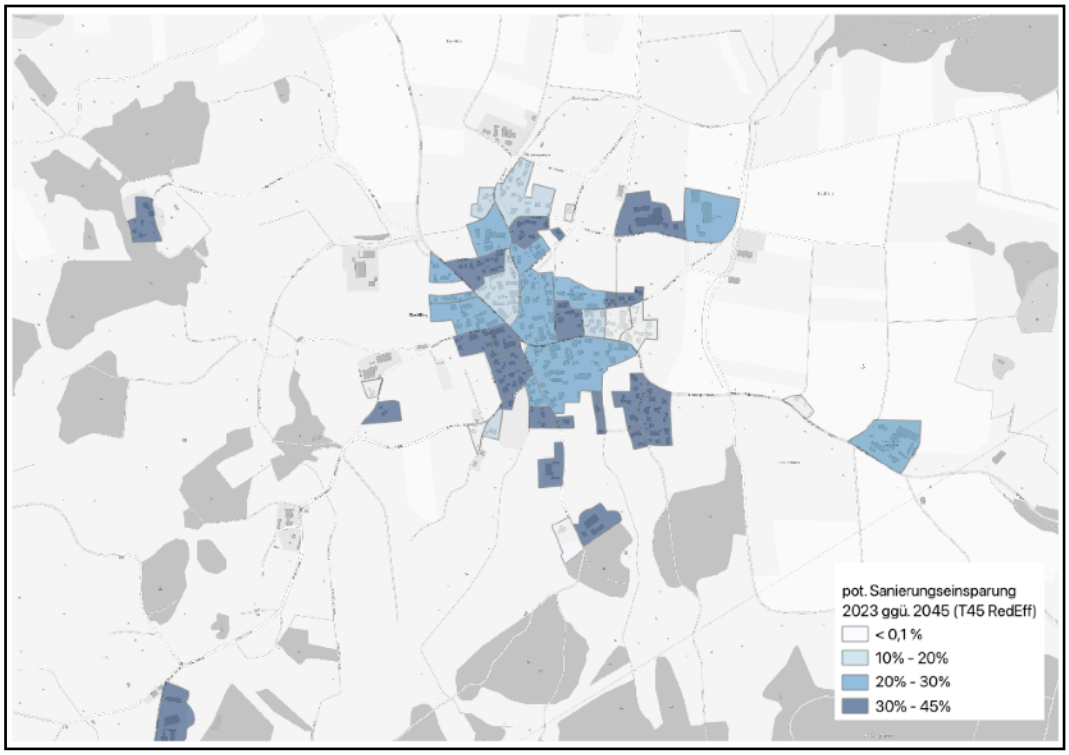
[27] vgl. Loga et al. (2015).



Wärmeeinsparpotenzial durch Sanierung in Gemeindegebiet Erling und Rothenfeld 2045 gegenüber 2023 nach konservativem Szenario in Prozent.



Wärmeeinsparpotenzial durch Sanierung in Gemeindegebiet Frieding 2045 gegenüber 2023 nach konservativem Szenario in Prozent.



Wärmeeinsparpotenzial durch Sanierung in Gemeindegebiet Machtlfing 2045 gegenüber 2023 nach konservativem Szenario in Prozent.

Gesondert zu betrachten ist das Einsparpotenzial der Großverbraucher. Hier entfällt eine maßgeblicher Anteil des Wärmebedarfs nicht auf die Gebäudebeheizung und Trinkwarmwasserversorgung, sondern auf Prozesswärme und -kälte; die Bedarfe und mithin auch die Einsparpotenziale sind entsprechend individuell. Grundsätzlich kann man sagen, dass der Prozesswärmebedarf von Molkereien maßgeblich durch thermische Verfahren wie Pasteurisierung, Ultrahocherhitzung, Reinigungs- und Trocknungsprozesse sowie die Bereitstellung von Heißwasser und Dampf bestimmt wird. Zwar ist der Wärmebedarf grundsätzlich nur begrenzt reduzierbar, da diese Prozesse hohe hygienische Anforderungen erfüllen müssen. Doch gibt es grundsätzlich auch bei diesem Nutzertyp relevante Ansätze für Effizienzmaßnahmen. Zu den wichtigsten zählen die Optimierung von Dampfsystemen und Kondensatrückführung, die Verbesserung der Anlagendämmung, die bedarfsgerechte Regelung von Wärmeverbrauchern sowie die Rückgewinnung von Wärme aus Pasteurisierungs-, Kühl- und Reinigungsprozessen. Wesentlich ist die systematische Integration interner Wärmequellen und -senken. Manches davon wurde im konkreten Fall bereits umgesetzt, anderes wird vorbereitet. Sich mit den konkreten Ansatzpunkten im Einzelnen zu befassen, geht über das hinaus, was eine Kommunalwärmeplanung leisten kann. Auf Grundlage letzter Energieaudits, allgemeiner Branchenkennwerte und einschlägiger Literatur[28] kann jedoch das verbleibende, erschließbare Einsparpotenzial des Prozesswärmebedarfs auf ca. 15 bis 20 Prozent geschätzt werden, wobei der Prozesswärmebedarf ca. 90 Prozent des Gesamtwärmebedarfs entspricht.

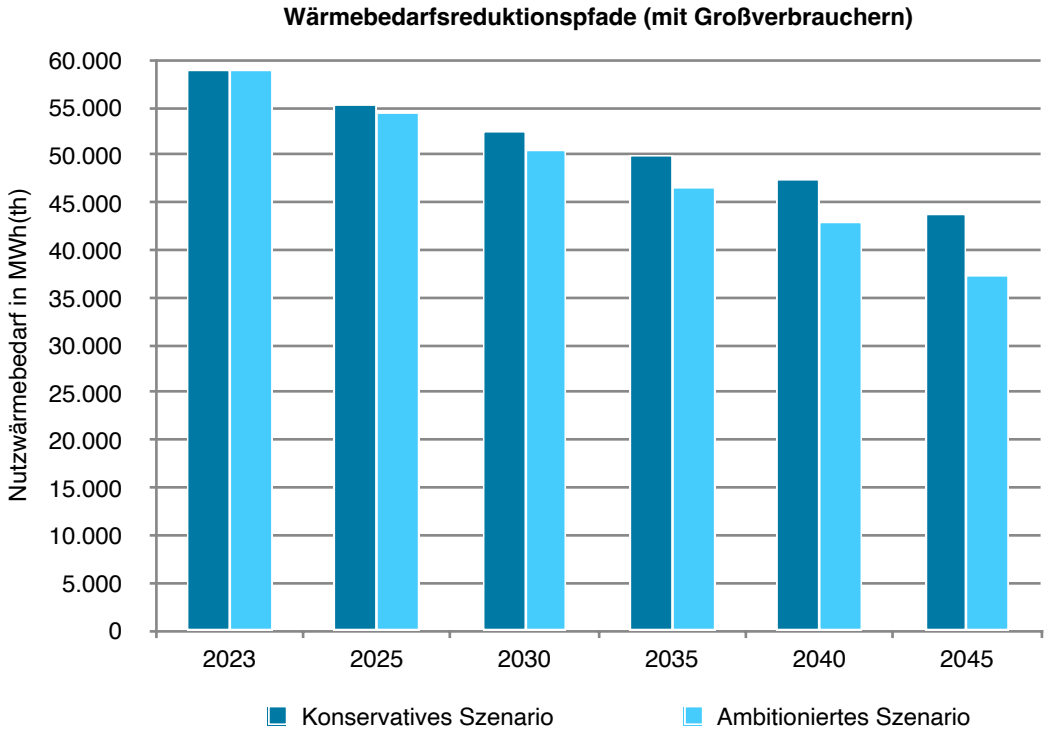
Über Verbrauchsstruktur und Einsparpotenziale der Klosterbrauerei liegen mangels Kooperation der Klosterverwaltung keine Angaben vor. Grundsätzlich entsteht der Prozesswärmebedarf von Brauereien nsbesondere bei den Verfahrensschritten Maischen, Läutern, Würzekochen, Pasteurisierung, Flaschen- und Fassreinigung sowie bei der Bereitstellung von Heißwasser und Dampf. Die hierfür erforderlichen Temperaturniveaus liegen überwiegend zwischen 60 °C und 100 °C, teilweise auch darüber. Aufgrund produktionstechnischer Anforderungen ist davon auszugehen, dass ein erheblicher Wärmebedarf auch langfristig bestehen bleibt. Dennoch verfügen Brauereien über vergleichsweise gute Voraussetzungen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Nutzung interner Wärmerückgewinnung.

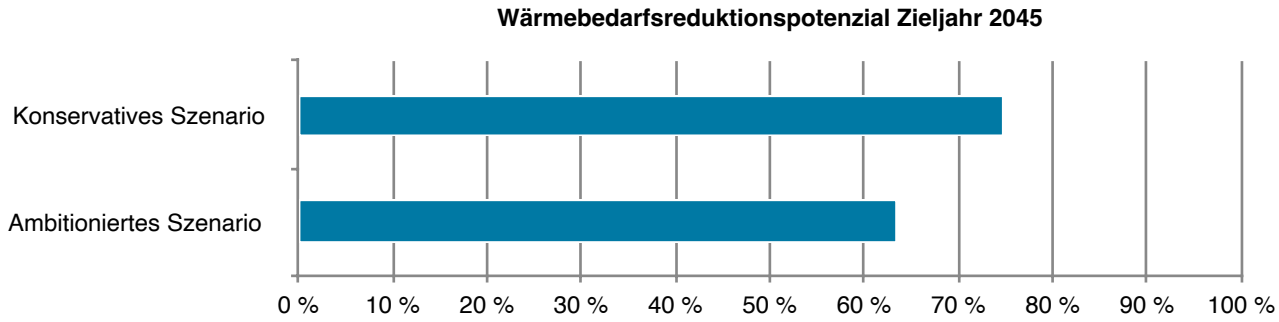
Besonders relevante Einsparpotenziale ergeben sich durch die Rückgewinnung von Wärme aus der Würzekühlung, die Optimierung von Sudhausprozessen, die Verbesserung von Dampfsystemen einschließlich Kondensatrückführung sowie die Nutzung von Abwärme aus Kälteanlagen und Reinigungsprozessen. Ergänzend können häufig – weiterhin grund-

[28] Faraldo, F., Byrne, P. (2024). Die Studie fasst Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, Wärmerückgewinnung, Elektrifizierung und Dekarbonisierung der Prozesswärme in der Lebensmittelindustrie zusammen.

sätzlich gesprochen – durch eine optimierte Betriebsführung, die Modernisierung von Anlagen und eine systematische Wärmeintegration bestehende Wärmequellen und Wärmesenken innerhalb des Betriebs effizienter miteinander verknüpft werden. In der Fachliteratur werden für Brauereien aufgrund der zeitlich und energetisch gut aufeinander abgestimmten Prozessschritte sowie der günstigen Voraussetzungen für die interne Wärmeintegration Wärmerückgewinnungspotenziale von bis zu etwa 35 Prozent des Prozesswärmebedarfs beschrieben.[29] Vor dem Hintergrund wird vorliegend in Ermangelung von Standortinformationen konservativ ein sinnvoll erschließbares Prozesswärme-Reduktionspotenzial von 20 bis 25 Prozent sowie ein Anteil der Prozesswärmebedarf am Gesamtwärmepotenzial des Klosterareals von 40 Prozent angesetzt.

Vor dem Hintergrund ergibt sich das in den nachfolgenden Diagrammen dargestellte Gesamtpotenzial der Wärmebedarfsreduktion für das gesamte Gemeindegebiet inkl. der Großverbraucher einschließlich entsprechender Entwicklungspfade. Bis zum Zieljahr besteht demnach das Potenzial, den Gesamtwärmebedarf im konservativen Szenario um 74,6 Prozent, im ambitionierten Szenario um 63,5 Prozent zu senken.





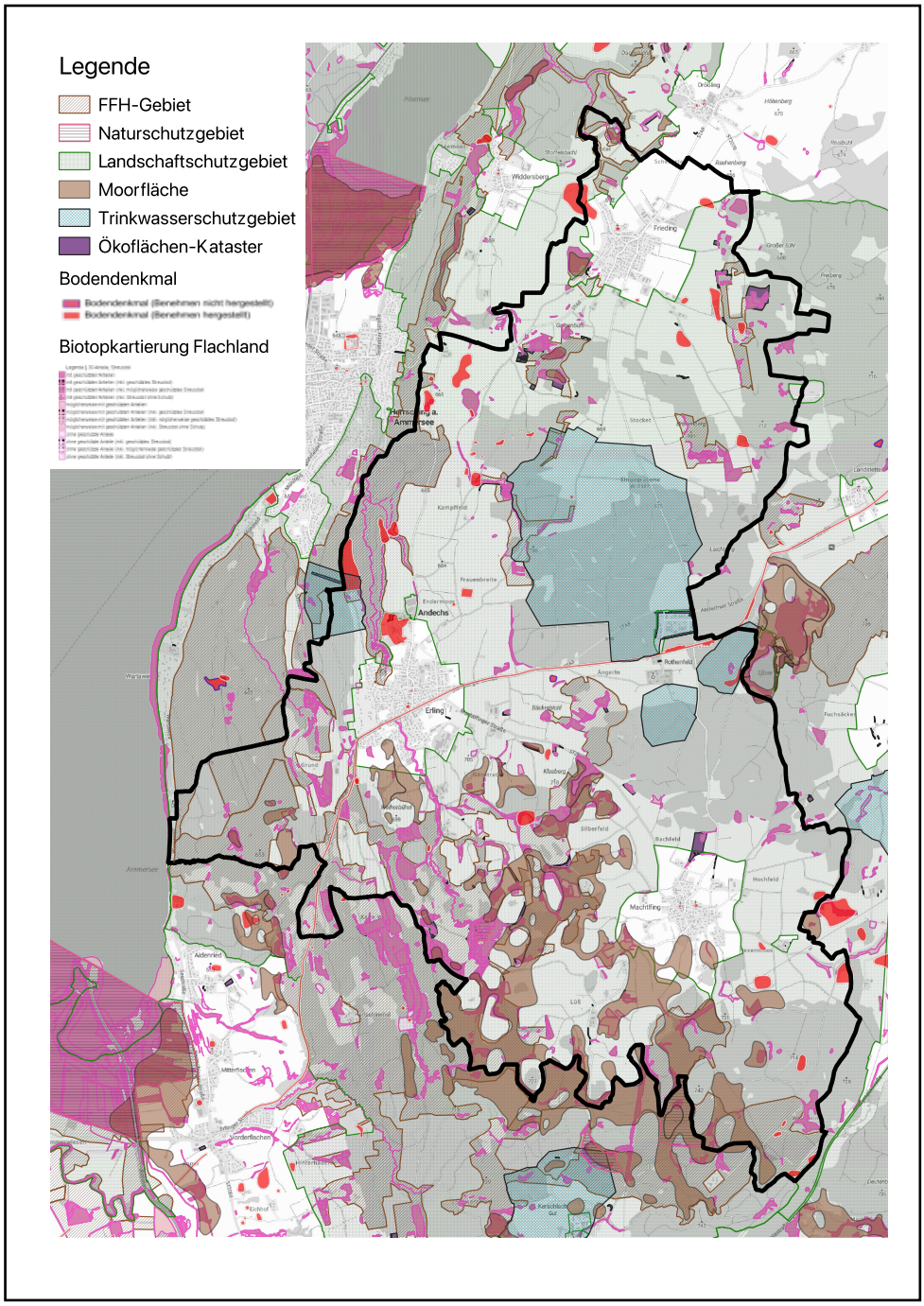
[29] Padullés, R., Andersen, M. P., Mogensen, N. B. et al. (2026).

6.2. Lokal verfügbare erneuerbare Energiequellen

Die Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energiequellen verlagert den Umweltzugriff von der zeitlichen in die räumliche Dimension. Anstelle der kurzfristigen Ausbeutung über Jahrmillionen durch biogene Zerfalls- und Umwandlungsprozesse entstandener, unterirdisch lagernder Ressourcen in Form von Öl, Gas und Kohle tritt der Bedarf an Flächen für die Nutzung regenerativer Energieformen wie Solar, Wind und Biomasse. Da die Möglichkeiten begrenzt sind, die Transformation der Wärmeversorgung zur Klimaverträglichkeit in nachhaltiger Form als Substitution von Fossilenergieimporten durch Regenerativenergieimporte zu organisieren, da Bioöle und Biogase und grüner Wasserstoff heute nicht auch nur ansatzweise in dem Umfang und zu den Preisen aus dem Ausland eingeführt werden können, wie es bei den fossilen Varianten der Fall ist, müssen Transformationsstrategien im Wesentlichen auf erneuerbaren Energiequellen beruhen, die lokal verfügbar sind, vor Ort erschlossen und gehoben werden können. Damit endet auch die das fossile Energiesystem charakterisierende Externalisierung des Umweltzugriffs (auf ferne unterirdische Lagerstätten). Das kann insbesondere in dicht besiedelten Gebieten zu Konflikten mit anderen, etablierten Formen der Landnutzung, der Landwirtschaft, den Siedlungs- und Verkehrsflächen, aber auch den menschlicher Nutzung zumindest weitgehend entzogenen Natur- und Biodiversitätsschutzflächen führen. Nicht alle lassen sich durch Co-Nutzungskonzepte („win-win-Szenarien“) wie etwa der Agri-Photovoltaik, d.h. der gemeinsamen Nutzung einer Fläche für die Sonnenstrom- und Nahrungs- oder Futtermittelproduktion (bzw. Beweidung), auflösen. Insofern steht am Anfang der Frage nach den Potenzialen erneuerbarer Wärmeversorgung grundsätzlich die Frage nach der Verfügbarkeit von Fläche – auch wenn nicht alle EE-Wärmequellen flächenintensiv sind und bei manchen wie die Luft überhaupt keine oder nur wenig Flächenabhängigkeit besteht.

Wie die Abbildung zeigt, genießen zahlreiche Gemeindebereiche Schutzstatus. Neben ihrer naturschutzrechtlichen und ökologischen Bedeutung dienen einige auch als Trinkwasserschutzgebiete und ökologische Ausgleichsflächen. Westlich und südlich von Erling liegt ein FFH-Gebiet (Natura 2000), das als wertvoller Lebensraum unter hohem europäischen Schutz steht. Dieses Gebiet erstreckt sich weiter bis in den Westen und Süden von Machtlfing und ist durchzogen von mehreren Biotopen, Moorgebieten und Bodendenkmälern. Ein großer Bereich zwischen Erling und Frieding sowie bei Rothenfeld ist als Trinkwasserschutzgebiet ausgewiesen. Das Gemeindegebiet ist mit Ausnahme der unmittelbaren Siedlungsbereiche als Landschaftsschutzgebiet deklariert. Mehrere Flächen sind als Bodendenkmäler kartiert.

In diesen Schutzgebieten kann die Flächennutzung zur Energiegewinnung grundsätzlich eingeschränkt sein. In welchem Maß und in welcher Form, ist von den einzelnen Energiearten abhängig. Der Grad der Einschränkung reicht von kategorischem Ausschluss (z.B. der Grundwassernutzung in Wasserschutzgebieten) bis zu mittelbarer Hinderung, wenn z.B. die EEG-Förderung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage auf eine bestimmte Flächenkulisse begrenzt ist. Letzteres schließt die Flächennutzung zur Stromgewinnung nicht kategorisch aus, erschwert sie jedoch aufgrund der Nichtverfügbarkeit von Fördermitteln und Abnahmegarantien. Insofern ist auf Grundlage der Flächenkulisse für jede Energieart gesondert zu bewerten, welches Flächenpotenzial mit guten Gründen als erschließbar gewertet werden kann.



Schützenswerte Bereiche im Gemeindegebiet von Andechs.

6.2.1. Mit Wärmepumpen erschließbare Wärmepotenziale

Niedertemperierte Umwelt- und Abwärmequellen können mittels Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung erschlossen werden. Grundsätzlich zu unterscheiden sind diese nach der Art der Wärmequelle und der Art der Wärmeübertragung in den zu beheizenden Gebäuden. Für wassergeführte Zentralheizsysteme gibt es Luft-, Wasser- und Sole-Wärmepumpen, die die Außenluft bzw. das Grundwasser direkt oder verschiedene Formen von Erd-, Hydro- oder Abwärme mittels Sole-Zwischenkreisen nutzbar machen.

Wärmepumpen arbeiten bislang überwiegend mit Kältemitteln, die hoch klimaschädlich sind, wenn sie unkontrolliert (im Falle einer Fehlfunktion bzw. eines Schadens) entweichen. Die Gesetzgebung dränt diese potenziell klimaschädlichen Substanzen derzeit in Form der sog. EU-F-Gase-Verordnung aus dem Markt. Schon heute sind viele Neugeräte mit natürlichen Kältemitteln wie Propan oder CO_2 ausgestattet; in wenigen Jahren wird das Inverkehrbringen potenziell klimaschädlicher Kältemittel nur noch in sehr engen Grenzen erlaubt sein. Mit den natürlichen Kältemitteln gehen neue Herausforderungen einher, z.B. im Bereich des Brandschutzes.

Grundsätzlich gilt: Je geringer der Temperaturunterschied zwischen Umweltwärmequelle und Heizwasser-Vorlauftemperatur ist, um so geringer ist der Bedarf an elektrischer Energie, um eine Einheit Wärme erzeugen zu können. Das Temperaturniveau von Trinkwarmwasseranwendungen ist dabei im Wesentlichen durch Hygienevorschriften vorgegeben; die Temperatur des Heizwassers für die Raumwärmeversorgung hingegen ist vom technischen Standard des Gebäudes abhängig. Insofern gilt: Wärmepumpensysteme können nur so energieeffizient sein, wie das Gebäude, das sie beheizen.

Der Trinkwarmwasserbedarf ist ganzjährig grundsätzlich gleich, der Raumwärmebedarf ist im Wesentlichen eine Funktion der Außentemperatur. Das führt dazu, dass Luft-Wärmepumpen im Sommerhalbjahr bei hohen Außentemperaturen besonders effizient Trinkwarmwasser bereiten können, im Winterhalbjahr jedoch Wärmepumpen, die auf über den Lufttemperaturen liegende Umweltwärmequellen zurückgreifen können, effizienter sind. Da der Raumwärmebedarf den Trinkwarmwasserbedarf im Gebäudebestand grundsätzlich erheblich übersteigt, weisen unterm Strich Wasser- und Sole-Wärnepumpen in der Regel höhere Jahresarbeitszahlen (JAZ) auf. Die JAZ beschreibt das Verhältnis zwischen der in einem Jahr abgegebenen Nutzwärme und der in diesem Jahr eingesetzten elektrischen Energie. Beispielsweise können bei einer JAZ 3,0 drei Einheiten Wärme mit einer Einheit Strom erzeugt werden, indem zwei Einheiten Umweltwärme (hier aus der Umgebungsluft) dem Prozess zugeführt werden. Die JAZ ist nicht zu verwechseln mit dem in Datenblättern ausgewiesenen Coefficient of Performance (COP), der ein Maß der elektrischen Effizienz in bestimmten definierten Betriebszuständen (Verhältnis aus Außentemperatur und Output-Temperatur) ist; bei Luft-Wärmepumpen auch nicht mit dem sog. SCOP (Seasonal Coefficient of Performance), der COP-Kennwerte zu bestimmten definierten Betriebszuständen im Jahresablauf kombiniert. Auch SCOP-Werte können in der Praxis nur selten jahresbilanziell messtechnisch nachgewiesen werden.

Insofern Wärmepumpen relevante Stromverbraucher sind, muss eine auf Wärmepumpen beruhende Strategie stets auch die Frage beantworten, woher der Strom kommt, den die Wärmepumpen verbrauchen. Zunächst einmal kommt dieser regelmäßig aus dem öffentlichen Stromnetz. Die treibhausgasbilanzielle Bewertung von Wärmepumpensystemen ist neben der JAZ demnach insbesondere vom EE-Anteil des deutschen Strommix abhängig. Dieser ist seit etwa 25 Jahren ansteigend, zuletzt (2025) lag er bei 55,1 Prozent. Bis zum Jahr 2030 soll er nach Plänen der Bundesregierung auf mindestens 80 Prozent und bis 2045 auf nahe 100 % steigen. Die Sinnhaftigkeit einer auf Wärmepumpen beruhenden Transformation ist von der Treibhausgasneutralität der Stromversorgung abhängig.[30]

Wärmepumpen werden als sog. steuerbare Verbraucher (wie auch z.B. Batteriespeicher) stromwirtschaftlich anders behandelt als z.B. reguläre Haushaltsverbräuche.[31] Netzbetreiber haben das Recht, im Fall von Netzengpässen die Leistung von Wärmepumpen zu dimmen; im Gegenzug müssen sie dem Wärmepumpenbetreiber Reduktionen auf das Netzentgelt einräumen.[32] Drei Varianten stehen hier zur Wahl: Standardfall ist eine Pauschalentschädigung, unabhängig vom tatsächlichen Stromverbrauch der Wärmepumpe (sog. Modul 1). Er kann kombiniert werden mit zeitvariablen Netzentgelten an mindestens zwei Quartalen pro Jahr (sog. Modul 3); aktuell ist das Modul-Netzentgelt in Andechs im Sommerhalbjahr zwischen 10 und 15 Uhr auf ca. 10 Prozent des Standard-Netzentgelts gemindert, zwischen 17 und 22 Uhr jedoch auf ca. 200 Prozent erhöht. Hier gibt es also einen Anreiz, den Wärmepumpenbetrieb in die Niedertarifzeiten zu verlagern, was steuerungstechnisch im Rahmen der hydraulischen Gegebenheiten gelöst werden kann, in der Breite jedoch noch kaum Anwendung findet. Mit einer zusätzlichen Messung und einer separaten Stromlieferbeziehung kann das Netzentgelt gemäß Modul 2 auch ganzjährig auf 40 Prozent des Standardtarifs gesenkt werden.

Mit der Verbreitung sog. intelligenter Messsysteme (iMSys), deren Einsatz in Gebäuden mit Wärmepumpen gesetzlich verpflichtend ist, deren Ausbau jedoch weit hinter den ursprünglich gesetzten Zielen hinterherhinkt, können auch Verbraucher mit einem Jahresverbrauch unter 100.000 kWh (also die überwiegende Mehrheit) sog. dynamische Stromtarife nutzen, was in Kombination mit steuerbaren Verbrauchern wie Wärmepumpen besonders relevant ist. Der Strompreis sinkt im Sommerhalbjahr regelmäßig um die Mittagszeit, teilweise unter Null. In Verbindung mit dem Netzentgeltmodul 3 können Wärmepumpen so zeitweise zum Nulltarif Wärme erzeugen, zeitweise erhalten Wärmepumpenbetreiber sogar Geld dafür, dass sie die Wärmepumpen betreiben. Am 1. Mai 2025 beispielsweise sank der Spotmarktpreis (sog. Day-Ahead) teilweise auf minus 50 ct/kWh. Im Winterhalbjahr entstehen solche Preisminima zu Zeiten geringen Verbrauchs und hohen Windertrags.

---

[30] Wozu prinzipiell auch Kernkraftwerke beitragen können, nach Beschlusslage aber nicht in Deutschland.

[31] vgl. § 14a EnWG.

[32] Gilt nur für Anschlüsse mit einem Jahresstromverbrauch unter 100.000 kWh.

Anteilig kann der Stromverbrauch von Wärmepumpen zudem mit PV-Strom gedeckt werden, der im jeweiligen Gebäude (bzw. auf dessen Dach) erzeugt wird. In Kombination mit Batteriespeichern sind hier regelmäßig Jahresdeckungsanteile von bis zu etwa einem Drittel möglich, aufgrund der gegenläufigen Jahreslastgänge von PV-Stromerzeugung und Wärmepumpenstromverbrauch und der Nicht-Verfügbarkeit entsprechender Langzeitspeicher im Gebäudebereich jedoch nicht wesentlich mehr.

In der Gesamtheit aus Wärmepumpe, PV-Anlage, Batteriespeicher und dynamischem Netzstromtarif entsteht so ein vergleichsweise komplexes System, das stromwirtschaftlich mit entsprechender Steuerungstechnik stark optimiert werden kann. Die Wärmegestehungskosten von Wärmepumpen lassen sich so erheblich senken. Gleichwohl ist das dafür erforderliche Fachwissen und sind die hierfür erforderlichen sog. Energie-Management-Systeme bislang noch wenig verbreitet. Strategien zum Ausbau von Wärmepumpensystemen sollten diese Zusammenhänge jedoch adressieren. Nicht auf der Heiztechnik sollte hier der Schwerpunkt liegen (die ist im Wesentlichen standardisiert), sondern darauf, wie diese Technik in einem komplexen Stromsystem mit sehr volatilen Preisen und Gestaltungsmöglichkeiten bestmöglich betrieben werden kann, um Wärme in Wärmepumpen günstig zu gestehen und damit die Akzeptanz dieser Systeme in der Breite zu erhöhen.

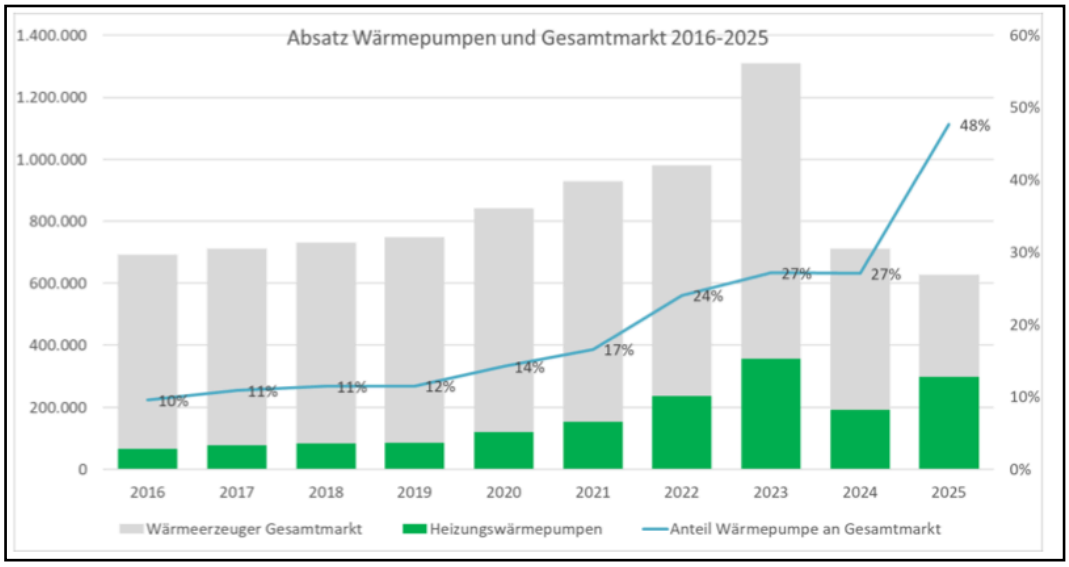
6.2.1.1. Luft

Zunächst eine ubiquitäre Umweltwärmequelle ohne jede Flächenabhängigkeit: die Luft. Sie steht grundsätzlich überall zur Verfügung und kann mittels Luft-Wasser- oder Luft-Luft-Wärmepumpen genutzt werden. Solche Systeme können grundsätzlich mit vergleichsweise geringem Aufwand an prinzipiell jedem Standort aufgebaut werden, wobei vor allem Schallemissionen ein Begrenzungsfaktor sein können. Bezahlt wird diese Flexibilität und Minder-Komplexität mit einer vergleichsweise geringen Jahresarbeitszahl (JAZ), das heißt einer vergleichsweise geringen elektrischen Effizienz. Luft-Wärmepumpen können ihn im Sommerhalbjahr bei hohen Außentemperaturen mit hoher elektrischer Effizienz, im Winterhalbjahr bei niedrigen Außentemperaturen hingegen nur mit geringer elektrischer Effizienz bereitstellen. Bedarf an technischer Raumwärmeversorgung besteht per definitionem nur unter einer bestimmten (vom energetischen Gebäudestandard abhängigen) sog. Heizgrenztemperatur; je kälter es ist, umso mehr elektrische Energie benötigt die Luft-Wärmepumpe, um eine bestimmte Wärmemenge zu erzeugen. Das alles führt zu folgendem:

- Luft-Wärmepumpen erreichen in den meisten Fällen geringere JAZ als Wärmepumpen, die auf Grundwasser, Erdsonden oder sonstige geo- oder hydrothermische Umweltwärmequellen zurückgreifen. Der geringere Aufwand der Umweltwärmequellenerschließung wird mit einem höheren Bedarf an elektrischem Strom in der Betriebsphase erkauft.
- Bei Bestandsbauten ist die Effizienz und damit auch die Sinnhaftigkeit von Luft-Wärmepumpen in hohem Maße von der Art der Wärmeübertragung und den dafür erforderlichen Heizwassertemperaturen abhängig.
- In Bestandsbauten, die vergleichsweise hohe Heizwassertemperaturen benötigen und insofern nicht saniert werden können oder sollen, kann die Einbindung einer Luft-Wärmepumpe in ein bivalentes Heizsystem sinnvoll sein, in dem der Luft-Wärmepumpe ein Spitzenlasterzeuger zu Seite gestellt wird. Das kann z.B. eine bestehende Gastherme sein, aber auch ein zentraler Kachel-, Grund- oder Kaminofen.
- Luft-Wärmepumpen erreichen in Neubauten mit geringem Raumwärmebedarf paradoxerweise häufig eine vergleichsweise geringere JAZ, weil der Anteil des (hohe Temperaturen erfordernden) Trinkwarmwasserwärmebedarfs am Gesamtwärmebedarf besonders hoch ist. Für diese Gebäudetypen sind sie dessen ungeachtet in der Regel derzeit das zu favorisierende Heizsystem.

Beklagt werden gelegentlich störende Geräuschemissionen von Wärmepumpen. Viele Modelle sind in den letzten Jahren deutlich leiser geworden. Gleichwohl ist ein geeigneter Aufstellort, der den Nachbarn nicht beeinträchtigt, wichtig. – auch wenn nach Bayerischer Bauordnung keine Mindestabstände zum Nachbargrundstück eingehalten werden müssen.

Der Einsatz von Wärmepumpen im Neubau sowie im Bestand wird voraussichtlich weiterhin steigen. In nachstehender Darstellung ist der Absatz von Wärmepumpen am Gesamtmarkt zwischen 2016 und 2025 dargestellt. Der starke Einbruch im Jahr 2024 ist auf Verunsicherungen durch die politische Debatte um das geänderte Gebäudeenergiegesetz, weniger Förderanträge, wirtschaftlicher Unsicherheit und Rückgang im Neubau zurückzuführen. Internationale politische Unruhen und damit einhergehende steigende Energiepreis werden den Einsatz von Wärmepumpen voraussichtlich wieder befördern. Unter der Annahme, dass jedes Gebäude, das nach 1995 gebaut wurde, soweit saniert werden kann, dass die Vorlauftemperaturen einen effizienten Betrieb einer Wärmepumpe ermöglicht, ergibt sich für Andechs im Jahr 2045 ein zusätzliches Potenzial von ca. 21.000 MWh. Das zum Bilanzjahr 2023 umsetzbare Potenzial aller beheizten Bauten, die nach 1995 errichtet worden sind, umfasst rund 1.950 MWh. Rund 1.554 MWh Nutzwärme werden in 2023 bereits durch Luft-Wasser-Wärmepumpen erzeugt.



Absatz Wärmepumpen im Gesamtmarkt 2016-2025; Quelle: BDH/BWP 2026.

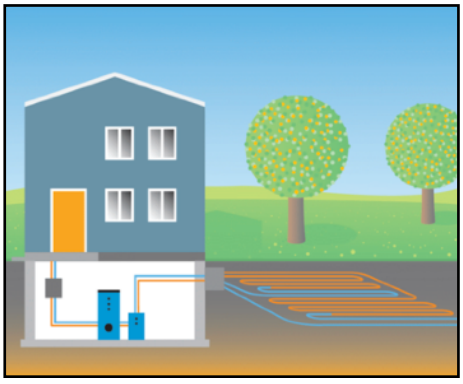
6.2.1.2. Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe geothermische Energie ist als erneuerbare und umweltfreundliche Wärmequelle grundsätzlich ausgesprochen vielversprechend. Ihre Bedeutung nimmt auch infolge technologischer Weiterentwicklungen stetig zu. Diese Technologie entzieht dem Grundwasser oder dem Erdreich Wärme in einem Tiefenbereich von wenigen Metern bis zu etwa 400 Metern. Diese Wärme, die mittels Wärmepumpensystemen für die Gebäudebeheizung nutzbar gemacht werden kann, liegt ganzjährig auf einem relativ konstanten Temperaturniveau an. Sie ermöglicht damit im Vergleich zur Umgebungsluft eine höhere Wärmepumpeneffizienz in der Heizperiode und erlaubt im Sommer eine passive Gebäudekühlung (bzw. Konditionierung) ohne Wärmepumpeneinsatz.

Oberflächennahe Geothermie ist eine grundsätzlich stabile, dem Prinzip nach krisensichere und konstante Energiequelle. Sie eignet sich mit Quellentemperaturen von vergleichsweise konstanten, jahresdurchschnittlich etwa 10-12 °C vor allem für die Versorgung von Gebäuden, die mit vergleichsweise niedrigen Heizwasser-Vorlauftemperaturen auskommen (vgl. oben). Es können aber auch Vorlauftemperaturen von bis zu 55 °C mit JAZ > 3 erzielt werden.

Trotz vieler Vorteile birgt diese Technik aber auch Herausforderungen. So sind die Investitionskosten höher als bei luftbasierten Systemen und der Erfolg der Bohrungen hängt stark von der (hydro-)geologischen Eignung ab. Grundwasserspiegel können im Zeitablauf allerdings absinken und Erdwärmesonden sollten über die Sommermonate durch Wärmeeintrag (z.B. aus dem Rücklauf der Gebäudekühlung) nach Möglichkeit regeneriert werden, um das anfängliche Wärmepotenzial dauerhaft aufrechterhalten zu können. In der Praxis werden meist nur Tiefen bis ca. 100 m erschlossen, weil diese bergrechtlich freigestellt sind.[33]

Es gibt verschiedene Verfahren, um dem Boden oberflächennah Wärme zu entziehen:



a) Erdwärmekollektoren mit Sole-Wasser-Wärmepumpen

Erdwärmekollektoren sind horizontal und oberflächennah verlegte Rohrschleifen-Systeme, durch die ein Wärmeträgermedium fließt. Sie werden in ca. 1,2 m bis max. 2 m Tiefe verbaut. In der Regel wird eine nicht überbaute Fläche benötigt, die 1,5 bis 2,5-mal so groß wie die zu beheizende Fläche ist. Die spezifische Entzugsleistung beträgt 10-40 W/m² abhängig von Höhenlage, geologischen Verhältnissen und Kollektortyp. Sie eignet sich vor allem für Neubauten mit Gartenfläche. Die Auslegung und der Einbau sind nicht aufwendig, die Anschaffungskosten gering. Die Technik

[33] BBergG §127.

hat eine hohe Lebensdauer und kann nahezu überall eingesetzt werden. Nachteilig ist der hohe Flächenbedarf und der Einfluss der Witterung, d.h. eine Leistungsreduktion im Winter. Es kann eine mittlere Jahresarbeitszahl von bis zu 4 erreicht werden. Neben Flächenkollektoren gibt es auch Grabenkollektoren. Hier werden die Rohre nicht flächig, sondern in langen schmalen Gräben verlegt. Das Erdreich wird so effizienter genutzt und es wird weniger Fläche benötigt.

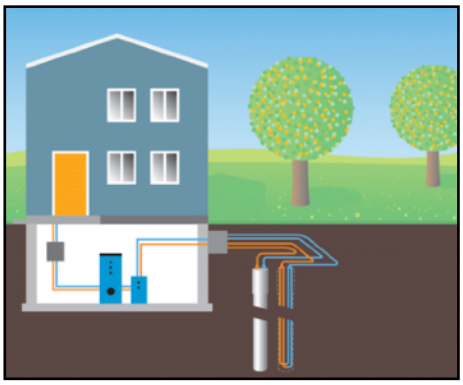
Die Nutzung von Erdwärmekollektoren ist in den besiedelten Gemeindegebieten von Andechs möglich und gesetzlich nicht beschränkt. Der Energieatlas Bayern liefert folgende Entzugsleistungen je nach Technologie:

Gemeindegebiet	Entzugsleistung	
	horizontaler Kollektor	Grabenkollektor
	W/m²	W/m²
Erling	20	50
Frieding	20	50
Machtlfing	20	50

Entzugsleistung für Erdwärmekollektoren in Andechs (EnergieAtlas Bayern)

Eine Nutzung in Trinkwasserschutzgebieten ist nicht möglich. Erdwärmekollektoren können bei Neubauten effizient eingesetzt werden, wenn eine ausreichende, nicht überbaute Fläche zur Verfügung steht. Bei Bestandsbauten ist der Aufwand für den Tiefbau höher. In der Praxis werden momentan Erdwärmekollektoren seltener verbaut. Da sich die Potentiale mit den anderen Formen oberflächennaher Geothermie überschneiden, werden Erdwärmekollektoren vorliegend nicht gesondert betrachtet.

b) Erdwärmesonden mit Sole-Wasser-Wärmepumpen



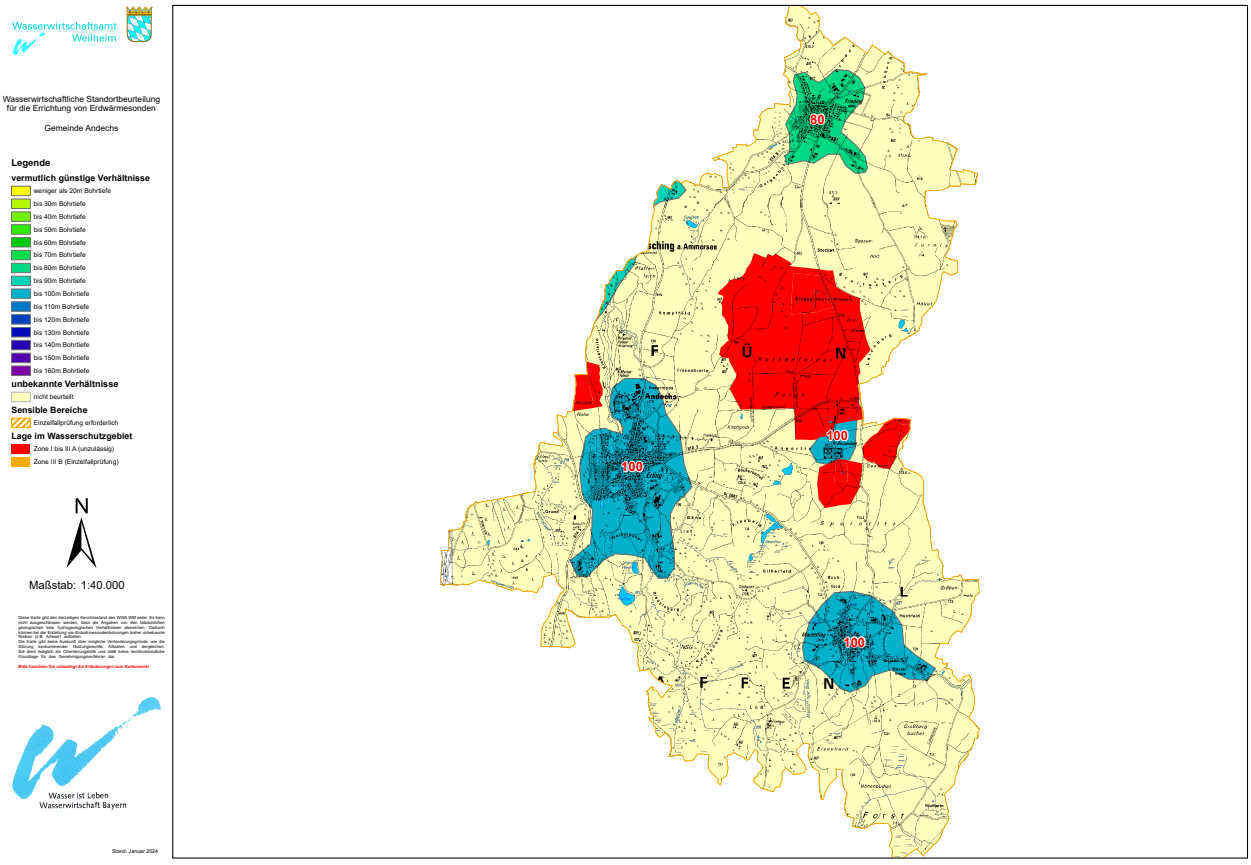
Erdwärmesonden (EWS) bestehen aus geschlossenen, vertikalen Rohrsystemen, die in Tiefen von 50 bis 150 m reichen. Das Wärmeträgermedium zirkuliert darin und nimmt die Erdwärme auf. Zum Einsatz können sie neben Einfamilienhäusern auch in Quartieren, Bürogebäuden und Mehrfamilienhäusern kommen. Diese Technik ist sehr platzsparend, ganzjährig nutzbar und auch zur Kühlung eines Gebäudes geeignet. Die Bohrtiefe und Anzahl der EWS hängt vom erforderlichen Wärmebedarf ab. Die spezifische Entzugsleistung beträgt 20-80 W/m², je nach geologischen Verhältnissen. Näherungsweise werden für den Wärmebedarf eines Einfamilienhauses zwischen 1 Sonde mit 80 m und 2 Sonden mit 100 m Tiefe benötigt. Bei sehr geringen Betriebskosten kann eine hohe Arbeitszahl erreicht werden. Die Technik hat eine sehr hohe Zuverlässigkeit und eine hohe Lebensdauer. Nachteilig sind eine aufwendige Auslegung und Herstellung, sowie hohe Anschaffungskosten. Je nach hydrogeologischen Verhältnissen kann der Einsatz auch eingeschränkt sein. Es kann eine mittlere Jahresarbeitszahl von bis zu 4,5 erreicht werden.

Aus rechtlicher Sicht ergeben sich Nutzungseinschränkungen hauptsächlich aus Gründen des Wasserschutzes. So ist der Bau und Betrieb von EWS in der Zone I bis III/IIIA von Wasserschutzgebieten verboten. Vor einer Auftragsvergabe sind die Standortbedingungen von Planern, ausführenden Betrieben oder Herstellern tiefgehend zu prüfen. Für weiterführende Informationen hier der Hinweis auf die Publikationen des bayerischen Landesamts für Umwelt zum Thema Oberflächennahe Geothermie.[34] Nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in Verbindung mit dem Bayerischen Wassergesetz (BayWG) sind EWS-Bohrungen anzeigepflichtig.

Das Wasserwirtschaftsamt Weilheim veröffentlicht eine Übersichtskarte,[35] die als Orientierungshilfe dienen soll, wo und bis zu welcher Bohrtiefe nach derzeitigem Kenntnisstand die Errichtung von EWS grundsätzlich möglich ist, wenngleich sie keine rechtsverbindliche Grundlage für das wasserrechtliche Genehmigungsverfahren zur Nutzung der Erdwärme ist und keine Auskunft über mögliche örtliche Verhinderungsgründe wie z.B. Altlasten, konkurrierende Nutzungsrechte, Bohrrisiken etc. gibt. Gemäß dieser Karte ist die Nutzung von EWS in allen Ortsbereichen von Andechs möglich. Vermutlich günstige Verhältnisse finden sich in Bohrtiefen bis zu 100 m in Erling und Machtlfling, in Frieding bis zu 80 m.

[34] https://www.lfu.bayern.de/wasser/thermische_nutzung/index.htm.

[35] „Wasserwirtschaftliche Standortbeurteilung für die Errichtung von Erdwärmesonden“.



Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmesonden in Andechs (WWA Weilheim, 2024)

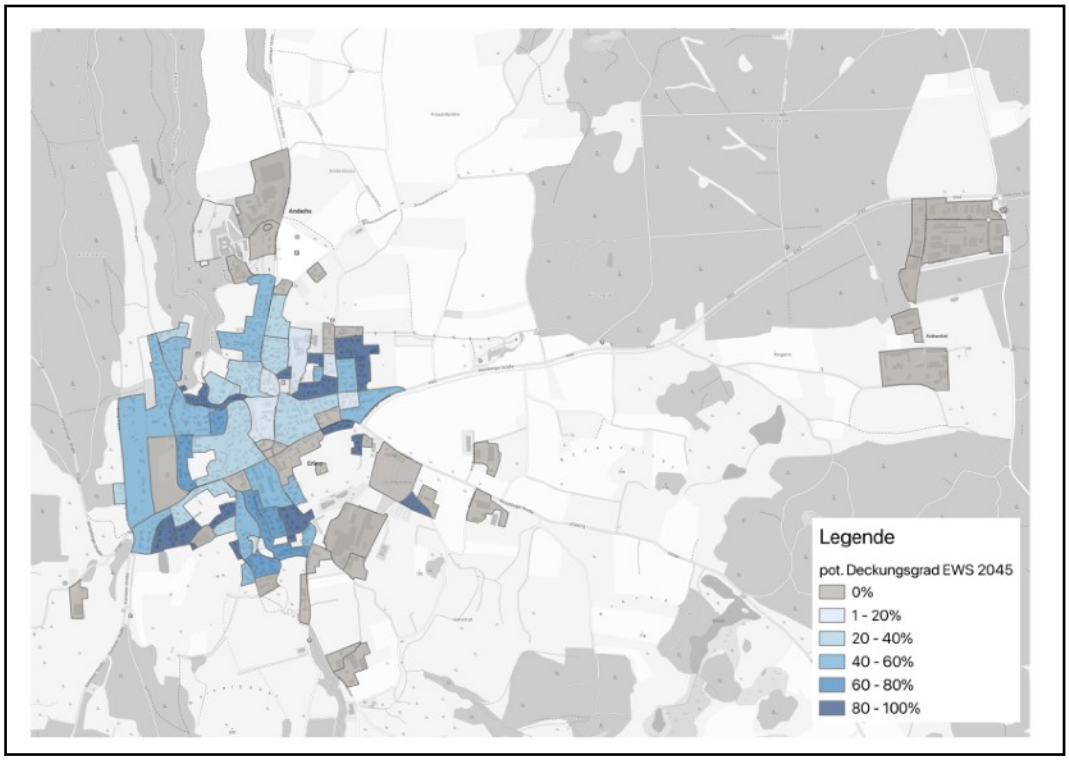
Zur konkreten Bestimmung der möglichen Entzugsleistung von EWS in Andechs haben wir ein vom LfU (2024a) entwickeltes Verfahren angewandt, das die lokale Wärmleitfähigkeit im Boden, die örtliche Bohrtiefenbegrenzung sowie rechtliche Ausschlussgebiete wie z.B. Wasserschutzgebiet heranzieht. Hierfür werden auf den einzelnen, relevanten Flurstücken Sonden gesetzt und damit eine maximal mögliche Entzugsleistung pro Flurstück ermittelt. Folgende Kriterien in der Verteilung werden hier berücksichtigt: Zu den Gebäuden wird eine Abstand von einem Meter gehalten, zu den Flurstücksgrenzen von drei Metern, zwischen den Sonden ein Abstand von sechs Metern; dies um eine gegenseitige Beeinflussung zu verhindern. Die maximal mögliche Anzahl an Sonden auf einen Grundstück wurde auf vier Stück begrenzt, da die Wirtschaftlichkeit der Anlage ansonsten annahmegemäß nicht mehr gegeben sein könnte. Nachfolgend wurde geprüft, ob die Entzugsleistung reicht, um den Wärmebedarf des Flurstücks zu decken. Hier die Ergebnisse:



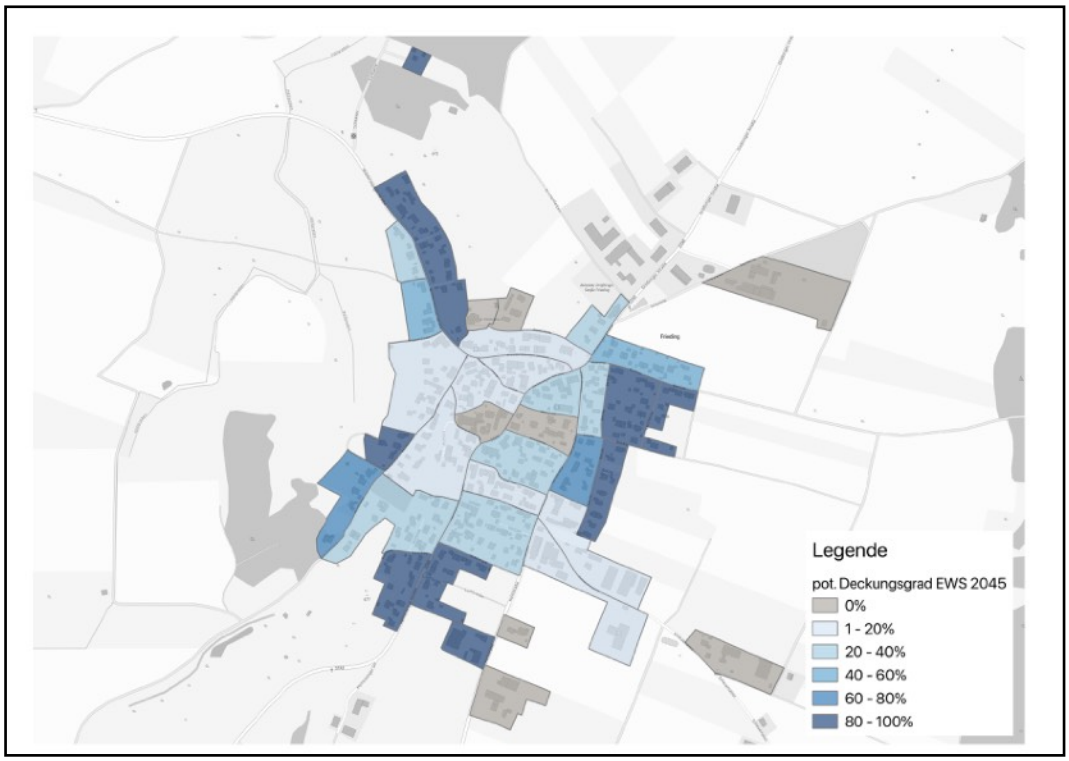
Methodik der Potenzialerhebung für EWS. Pro Grundstück wird mit maximal vier Sonden gerechnet

Auf insgesamt 706 Flurstücken in der Gemeinde kann perspektivisch im Jahr 2045 ein Wärmebedarf von rund 10.400 MWh gedeckt werden. Ein bestimmter energetischer Standard in den Gebäuden ist für den effizienten Betrieb Voraussetzung. Konzentriert man sich auf das heute darstellbare Potenzial für Gebäude, die nach 1995 und somit mit der Einführung der letzten Novelle der Wärmeschutzverordnung (WSchVo, 1994) errichtet wurden, so ergibt sich ein Potenzial von 1.400 MWh auf 92 Flurstücken. Ein Teil des Potenzial ist also bereits mit dem aktuellen Sanierungsstand umsetzbar.

Die möglichen Deckungsgrade des Wärmebedarfs 2045 durch EWS sind in nachfolgenden Darstellungen für die unterschiedlichen Gemeindegebiete kartographisch dargestellt.



Potenzieller Deckungsgrad durch EWS im Gemeindegebiet Erling und Rothenfeld im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)

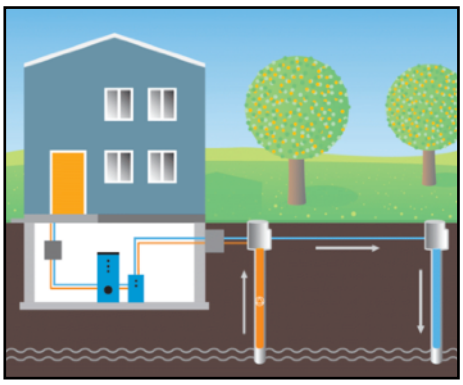


Potenzieller Deckungsgrad durch EWS im Gemeindegebiet Frieding im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)



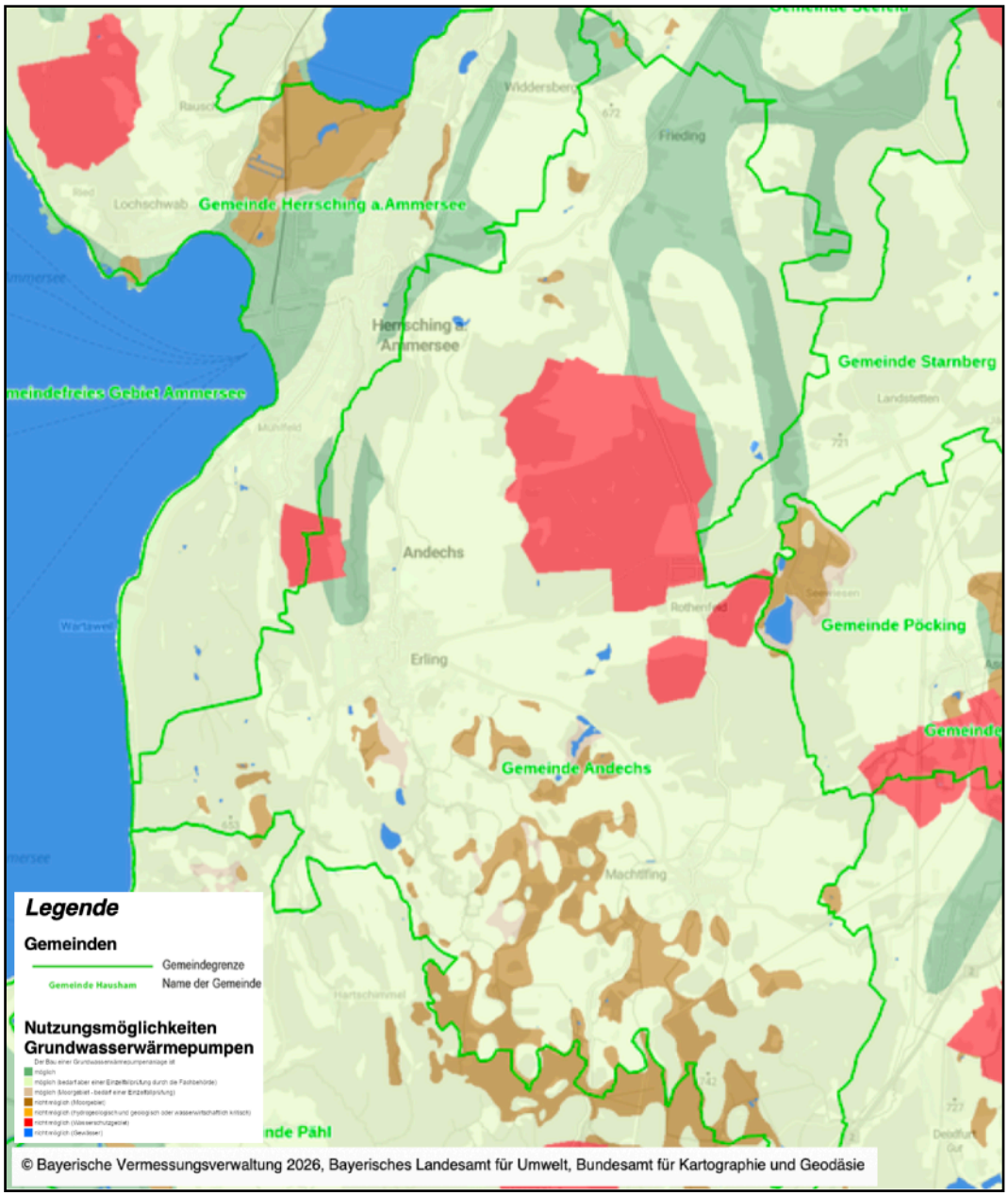
Potenzieller Deckungsgrad durch EWS im Gemeindegebiet Machtlfing im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)

c) Grundwasser-Wärmepumpen mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen



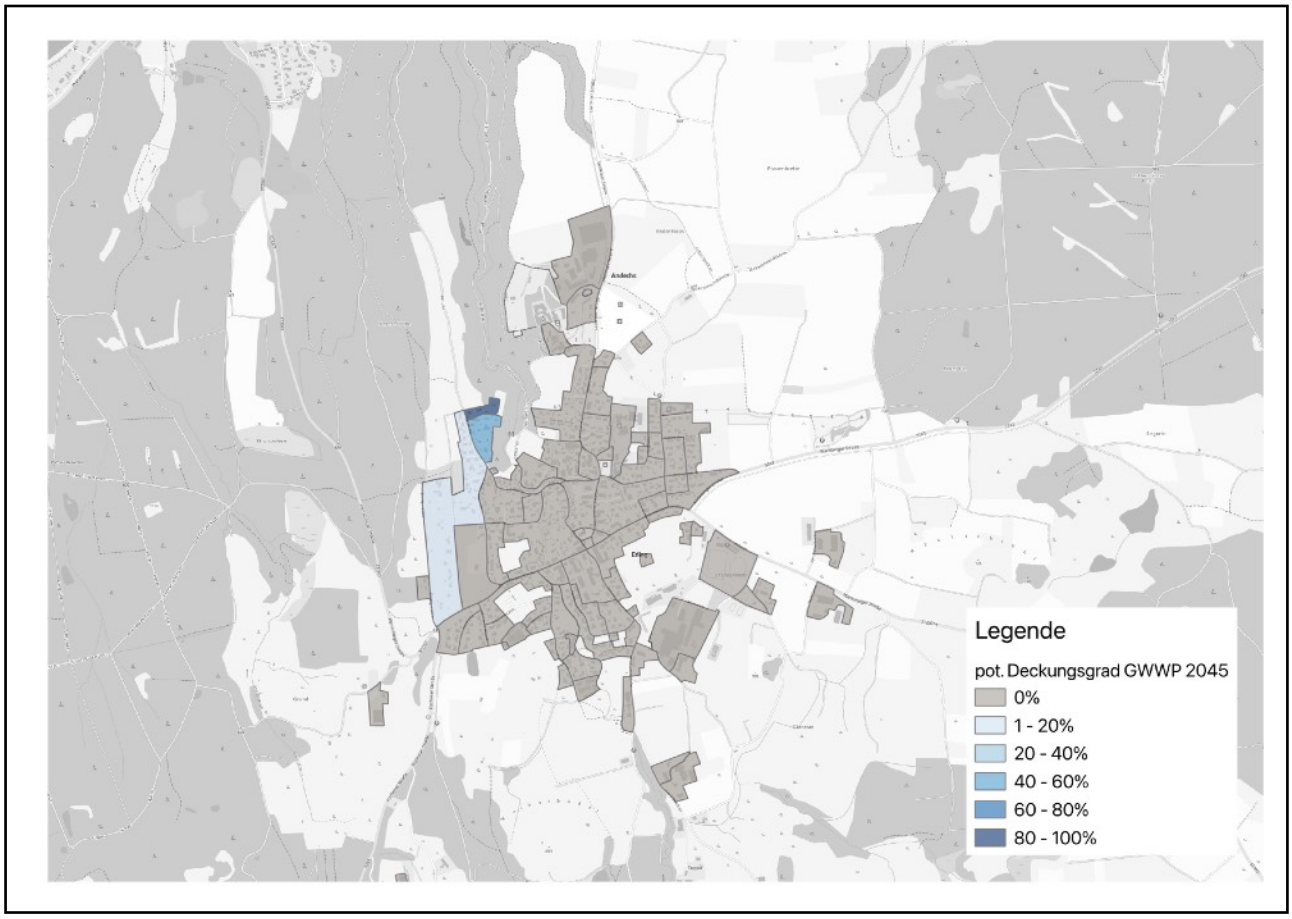
Eine Grundwasser-Wärmepumpe (GWWP) nutzt die über das ganze Jahr hin weitgehend konstante Temperatur des Grundwassers von rund 8-10° C, um damit zu heizen oder zu kühlen. Bei dieser Technik wird das Grundwasser über einen Förderbrunnen nach oben gepumpt, von der Wärmepumpe als Wärmeträgermedium genutzt und über einen Schluckbrunnen zurück zum Grundwasserleiter geschickt. Diese Technik kann Jahresarbeitszahlen von bis zu fünf erreichen. Ab Anlagen mit 10 kW Heizleistung und einem geeigneten Grundwasservorkommen ist die Grundwasser-Wärmepumpe gegenüber EWS wirtschaftlich häufig im Vorteil. Mit zwei Brunnen hat diese Technik einen geringen Flächenbedarf, ist unkompliziert in der Auslegung und punktet mit einer hohen Zuverlässigkeit. Nachteilig ist, dass die Anschaffungskosten hoch sind (wenngleich häufig geringer als bei EWS) und der Bau aufwändiger. Je nach hydrogeologischen Verhältnissen kann der Einsatz eingeschränkt sein. Ein hoher und konstanter Grundwasserspiegel ist vorteilhaft für die Erschließung. Die Entnahme von Grundwasser zur thermischen Nutzung und die Wiedereinleitung des genutzten Grundwassers stellen einen erlaubnispflichtigen Benutzungstatbestand nach § 3 Abs. 1 Nr. 6 bzw. Nr. 5 WHG dar. In Wasser- bzw. Heilquellenschutzgebieten sowie bei besonderen hydrogeologischen Verhältnissen ist die Grundwassernutzung für GWWP ebenfalls grundsätzlich untersagt.

Die Nutzungsmöglichkeiten für GWWP sind im Gemeindegebiet Andechs auf einige wenige Gebiete beschränkt (siehe nachfolgende Abbildung). In Frage kommt ein kleines Gebiet nordwestlich von Erling sowie östlich von Frieding. Der derzeitige Bestand von GWWP im Gemeindegebiet bestätigt die eher geringen Möglichkeiten. Wie die bestehenden Bohrungen bereits gezeigt haben, erklärt sich dies anhand tiefer Grundwasserstände. Die Potenzialerhebung des LfU (2024a) gibt für Andechs eine Entzugsleistung pro Brunnenpaar bis knapp 30 kW bei 10 m Brunnenabstand für das Gebiet in Erling, im Schnitt bis knapp 70 kW für das Gebiet östlich von Frieding.

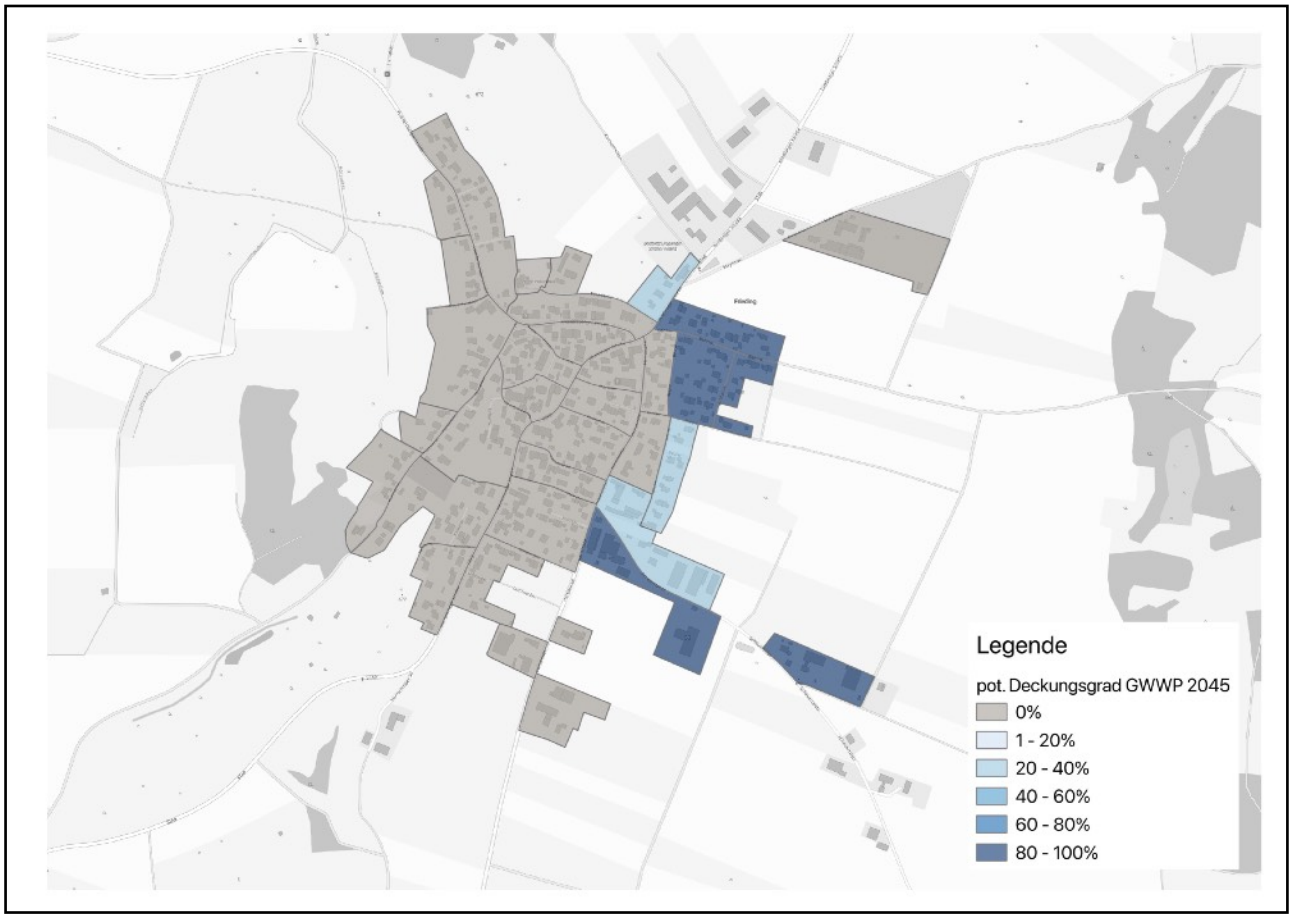


Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen.

Unter Berücksichtigung der Abstände zu den Gebäuden und Flurstücksgrenzen, den lokalen Entzugsraten und den Verbrauchern ergibt sich in Andechs auf 48 Grundstücken im Jahr 2045 ein Potenzial zur Wärmebedarfsdeckung durch GWWP von rund 885 MWh/a. In den nachfolgenden Abbildungen sind die Deckungsgrade in den relevanten Gemeindegebieten dargestellt. Wird der heutige Stand unter Berücksichtigung aller nach 1995 erbauten Gebäuden bewertet, so könnte ein Wärmebedarf von 40 MWh/a auf 2 Flurstücken gedeckt werden. In der Gemeinde Andechs ist die Nutzung von Grundwasserwärmepumpen wirtschaftlich sinnvoll nur auf einige wenige Gebiete beschränkt. Wie bei den EWS kommen hierfür insbesondere gut sanierte Bestandsgebäude in Frage.



Potenzieller Deckungsgrad durch GWWP im Gemeindegebiet Erling im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)



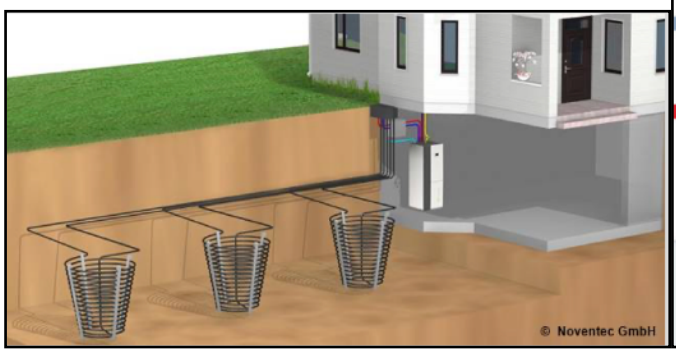
Potenzieller Deckungsgrad durch GWWP im Gemeindegebiet Frieding im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)

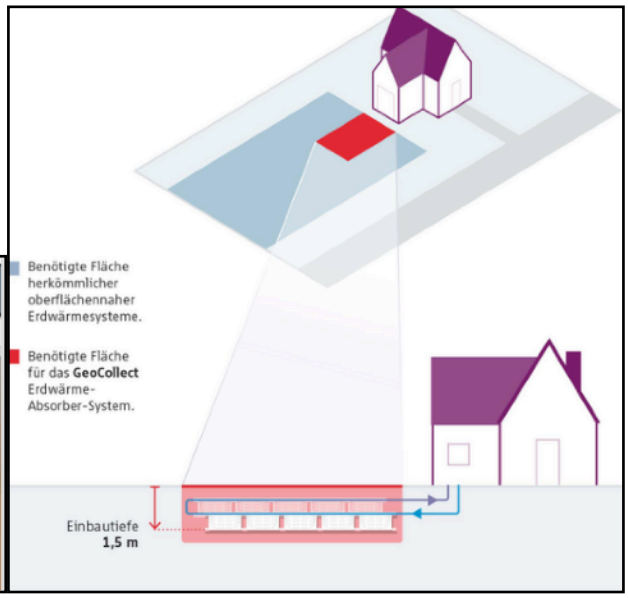


Potenzieller Deckungsgrad durch EWS im Gemeindegebiet Machtlfing im Zieljahr 2045 bei Wärmebedarfsreduktion nach Bundesziel (Nutzwärmebedarf T45 RedEff)

d) Sonderformen der oberflächennahen Geothermie

Neben diesen Standard-Anwendungen gibt es noch weitere technische Lösungen zur Nutzung von oberflächennaher Erdwärme. So können insbesondere bei beengten Platzverhältnissen Erdwärmekörbe auf relativ kleiner Fläche im Erdreich verbaut werden. Dabei handelt es sich um vorgefertigten Wärmetauscherelemente.





Ein System mit dem Handelsnamen „GeoCollect“ arbeitet mit Wärmeabsorbern, die die Wärme dem Erdboden, aber auch Gewässern entziehen können. Es benötigt als Kollektorfläche nur ca. ein Drittel der zu beheizenden Fläche. Für Gartenflächen wird mit einer Entzugsleistung von 100 W/m geworben. Die Einbindetiefe beträgt ca. 1,5 m.

Zur Nutzung von Erdwärme gibt noch weitere innovative Systeme wie z.B. Ringgrabenkollektoren, die rund um ein Gebäude verlegt werden. Oder Energiepfähle bei Neubauten, die zur Gründung tiefe Betonpfähle benötigen. In diese Pfahlgründungen können vorab Rohrleitungen in die Armierung gelegt werden, so dass damit dem Erdreich die Wärme entzogen wird.

6.2.1.3. Hydrothermie

In zunehmendem Maße werden auch Oberflächengewässer als Umweltwärmequellen in den Blick genommen. Nach Pilotanlagen in der Schweiz, Norwegen und Schweden wird derzeit ein bayernweit erstes größeres Projekt am Tegernsee (für die Beheizung eines Hotelkomplexes) umgesetzt. Eine Bürgerinitiative verfolgt die Nutzung der „Seethermie“ in Tutzing (Starnberger See). Auch am Chiemsee gibt es aktuell entsprechende Überlegungen.

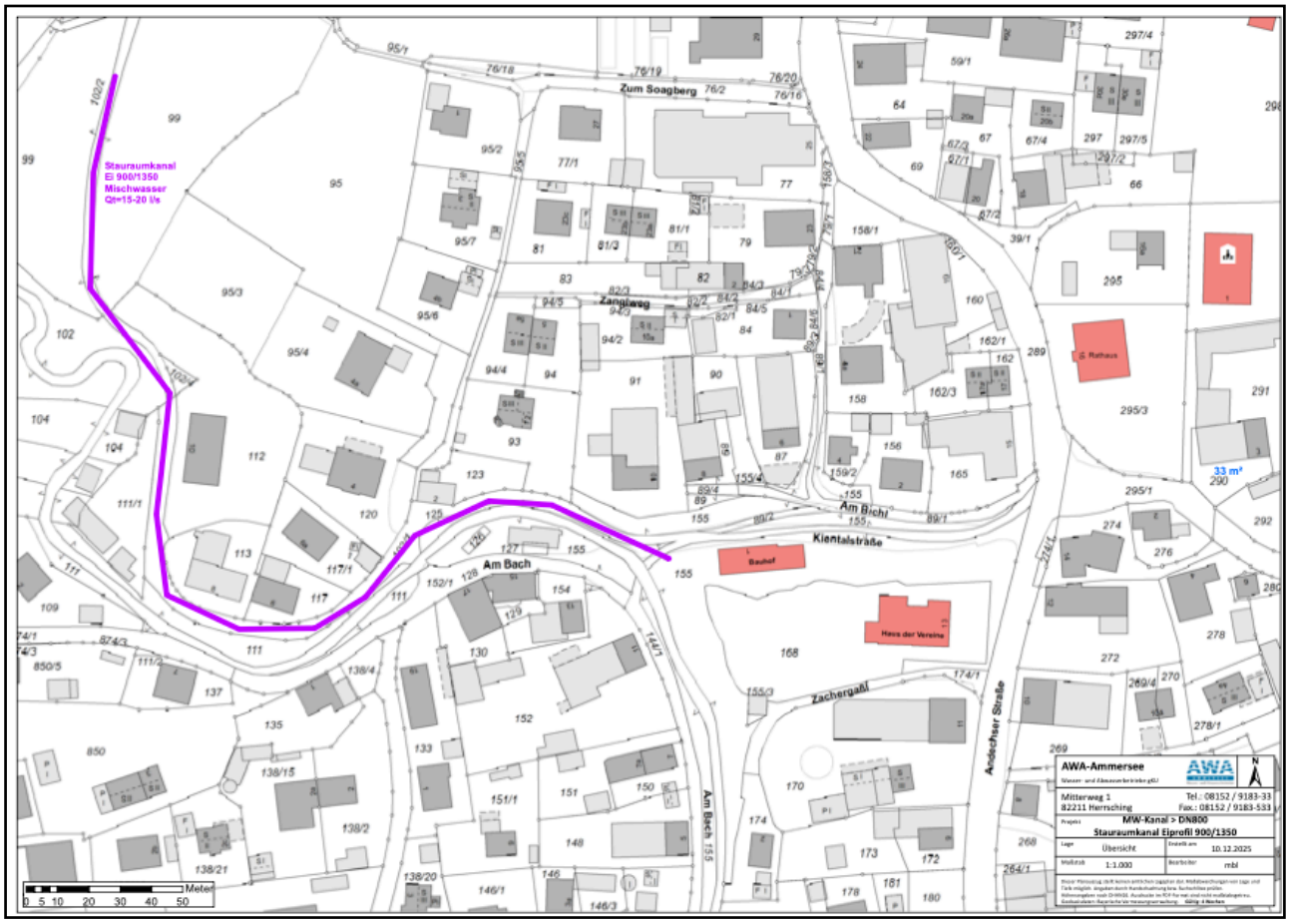
Wartaweil, ein kleiner Uferabschnitt des Ammersees, liegt im westlichen Gemeindegebiet Andechs’. Jedoch ist das gesamte Gebiet am Ammersee im wassersensiblen Bereich und ist als FFH-Gebiet besonders geschützt. Eine Seethermie ist aufgrund des besonderen Schutzstatus des Bereichs schwer vorstellbar.

Es gibt in Andechs zudem mehrere kleinere stehende Gewässer, die alle aufgrund ihrer kleinen Dimensionen keine großen Potenziale als Wärmequellen bergen und von den Verbrauchszentren vergleichsweise weit entfernt liegen.

6.2.1.4. Abwasser und Abwärme

Das im Netz der allgemeinen Entsorgung gesammelte und der Kläranlage (in Eching) zugeführte Abwasser ist prinzipiell eine ganz hervorragende Umwärmequelle, die vergleichsweise konstant hohe Temperaturen von ca. bis zu etwa 15° C liefert. Die Temperaturen sinken auch während der kalten Wintermonate nicht unter ca. 8 C. Verfahrenstechnisch ideal ist die Wärmeentnahme nach der Nachklärung einer Kläranlage. Zwar ist die Wassertemperatur geringer als im Kläranlagenzulauf, doch weist das Wasser einen hohen Reinheitsgrad auf, was die Erschließung des Wärmepotenzials mit Wärmetauschern vereinfacht.

Es ist auch möglich, das Wärmepotenzial ungeklärten Abwassers zu erschließen. Hier besteht grundsätzlich das Problem der sog. Biofilmbildung an Wärmetauschern und Kanaleinbauten können die Hydraulik des Kanals beeinflussen. Es sind jedoch technische Lösungen marktverfügbar, mit denen diese Herausforderungen verlässlich gemeistert werden können, sowohl zum Einbau in die Kanalisation (die dafür einen Mindestdurchmesser von 80 cm haben sollte), als auch in Form von außerhalb der Abwasserleitungen angeordneten Bypass-Wärmetauschern.



Mischwasser-Stauraumkanal in Erling als potenzielle Wärmequelle

Wie die Abbildung zeigt, gibt es in Erling einen für die Abwasserwärmeerschließung geeigneten Mischwasser-Stauraumkanal mit einer Länge von ca. 350 Metern und einem Nenndurchmesser größer 80 Zentimetern. Nach Angaben des Entsorgers[36] ist hier mit einem Trockenwetterabfluss zwischen 15-20 l/s zu rechnen. Hier wird Mischwasser aus Erling, Schmutzwasser aus Rothenfeld und Schmutzwasser zweier großer Industriebetriebe gesammelt und Richtung Herrsching weiter zur Kläranlage in Eching am Ammersee geleitet.

Eine mögliche Technik zur Erschließung dieser Wärme hat die Uhrig-Gruppe mit speziellen Wärmetauschern entwickelt. Mit einem solchen könnte dem Mischwasserkanal eine Wärmemenge von rund 4.800 MWh/a entzogen und für Wärmepumpenprozesse nutzbar gemacht werden. Jahresarbeitszahlen von 4 und mehr sind hier (je nach Output-Temperaturverlauf) möglich. Der Entsorger hat Bedenken geäußert, dass mit Wärmetauschereinbauten die hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanals beeinträchtigt werden könnte. Der Hersteller zerstreut



Wärmetauscher in kreisförmigem Kanal in Wangen, der seit 2019 mit 300 kW thermischer Leistung in ein Wärmenetz einspeist

[36] AWA Ammersee Wasser- und Abwasserbetriebe gKU.

diese Bedenken; da die Wärmetauscher sehr flach auf dem Kanalboden eingebaut werden könnten, wäre die Kanalhydraulik nicht beeinträchtigt. Außerhalb des Kanals liegende Bypass-Wärmetauscher-Lösungen (z.B. System „Huber“ oder System „Jaske und Wolf“) beeinträchtigen die Kanalhydraulik prinzipbedingt nicht, für diese wird allerdings zusätzlicher oberirdischer Platz benötigt.

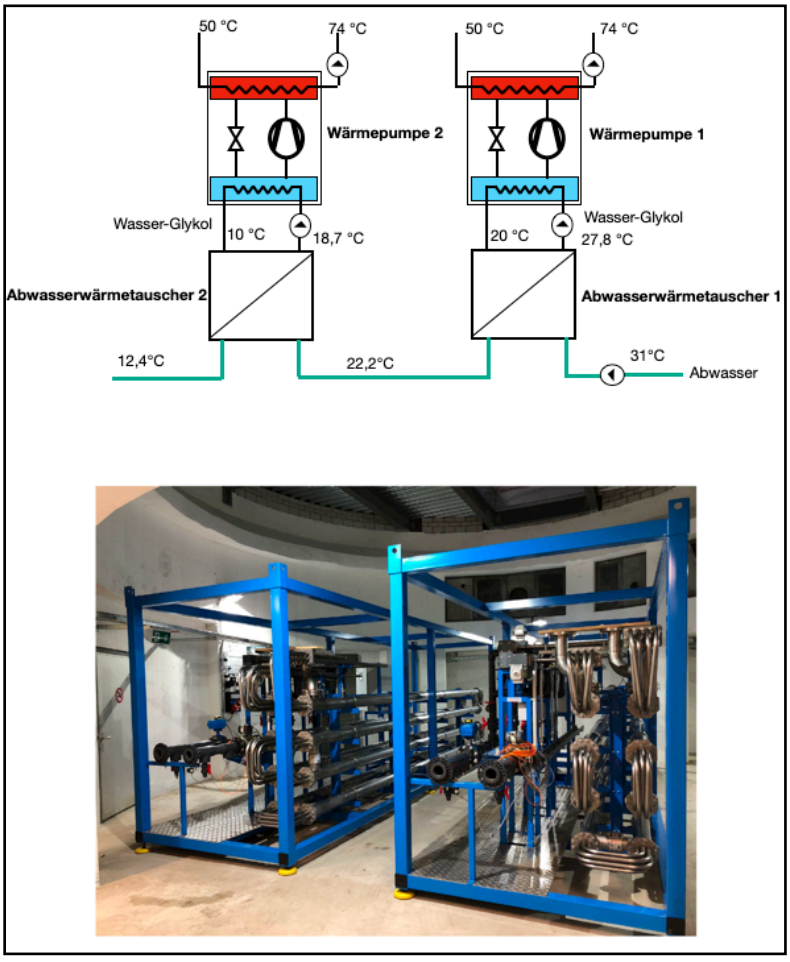
Tatsächlich ist die Technik in Deutschland mittlerweile relativ weit verbreitet, wurden in den letzten Jahren eine Reihe vergleichbarer Projekte realisiert. So versorgen beispielsweise die Stadtwerke Stuttgart ihr Hauptgebäude mit einer Abwasserwärme nutzenden Wärmepumpe und planen derzeit die Errichtung eines weiteren Modells in einem größeren Contracting-Vorhaben im Stuttgarter Stadtteil Feuerbach.

Nun gibt es in Erling jedoch noch eine Besonderheit: Wesentliche Teile des Abwasser-Wärmepotenzials beruhen auf der Kanaleinleitung von in einer betriebseigenen Kläranlage des größten ortsansässigen Industriebetriebs[37] (vor-)gereinigten betrieblichen Abwassers mit einer ganzjährig weitgehend konstanten Temperatur von ca. 31 °C. Bei den anliegenden Volumenströmen besteht ein ungenutztes Abwärmepotenzial von etwa 3.000 MWh_{th}/a bis 4.300 MWh_{th}/a mit einem vergleichsweise konstanten Jahreslastgang. Mit entsprechenden Wärmetauschern nutzbar gemacht, können Großwärmepumpen daraus ca. 3.900 - 5.700 MWh_{th}/a an Nutzwärme mit zur Bestandsgebäudebeheizung erforderlichen Temperaturen erzeugen. Nachstehende Abbildung zeigt ein Prinzipschema eines grundsätzlich geeigneten Wärmetauschers (hier in Reihe geschaltet).

Bei dem Betriebsabwasser handelt es sich um unvermeidbare Abwärme, verstanden als Nebenprodukt industrieller oder gewerblicher Produktions- oder Verarbeitungsprozesse. Solche Abwärmequellen zu identifizieren und einer technischen Nutzung zuzuführen ist ein ausgesprochen sinnvoller und vielversprechender Wärmewendebaustein. Erster Ansatzpunkt ist stets, die Abwärme in dem Betrieb nutzbar zu machen, in dem sie anfällt. Der Molkereibetrieb beschäftigt sich angabegemäß derzeit mit der Erschließung der Abwärmequelle, mögliche Form und möglicher Umfang der Erschließung sind jedoch aktuell noch offen. Es besteht vor dem Hintergrund grundsätzlich Bereitschaft, die Abwärmequelle (möglicherweise anteilig) auch für die Nutzung außerhalb des Betriebs zur Verfügung zu stellen.

Sofern Abwärme nicht in dem Betrieb genutzt werden kann, in dem sie anfällt, entsteht grundsätzlich das Problem der Verlässlichkeit: Die Abwärme fällt naturgemäß nur insoweit an, als der sie erzeugende Produktions- oder Verarbeitungsprozess fortbesteht. Der Abwärmeproduzent wird regelmäßig nicht in der Lage sein, die Abwärmelieferung langfristig zu garantieren. Auf solche langfristige Garantie wiederum ist ein Wärmelieferant, der die Abwärme über ein Wärmenetz nutzbar macht, regelmäßig angewiesen.

Abwärmepotenziale bestehen häufig bei Brauereien. Ob das auch bei der Klosterbrauerei in Andechs der Fall ist, konnte mangels Auskünften der Klosterverwaltung im Rahmen dieser Untersuchung nicht ermittelt werden.



Darstellung von zwei in Reihe geschalteten Abwasserwärmetauscher der Firma Jaske & Wolf

[37] Andechser Molkerei Scheitz GmbH.

6.2.2. Tiefe und mittlere Geothermie

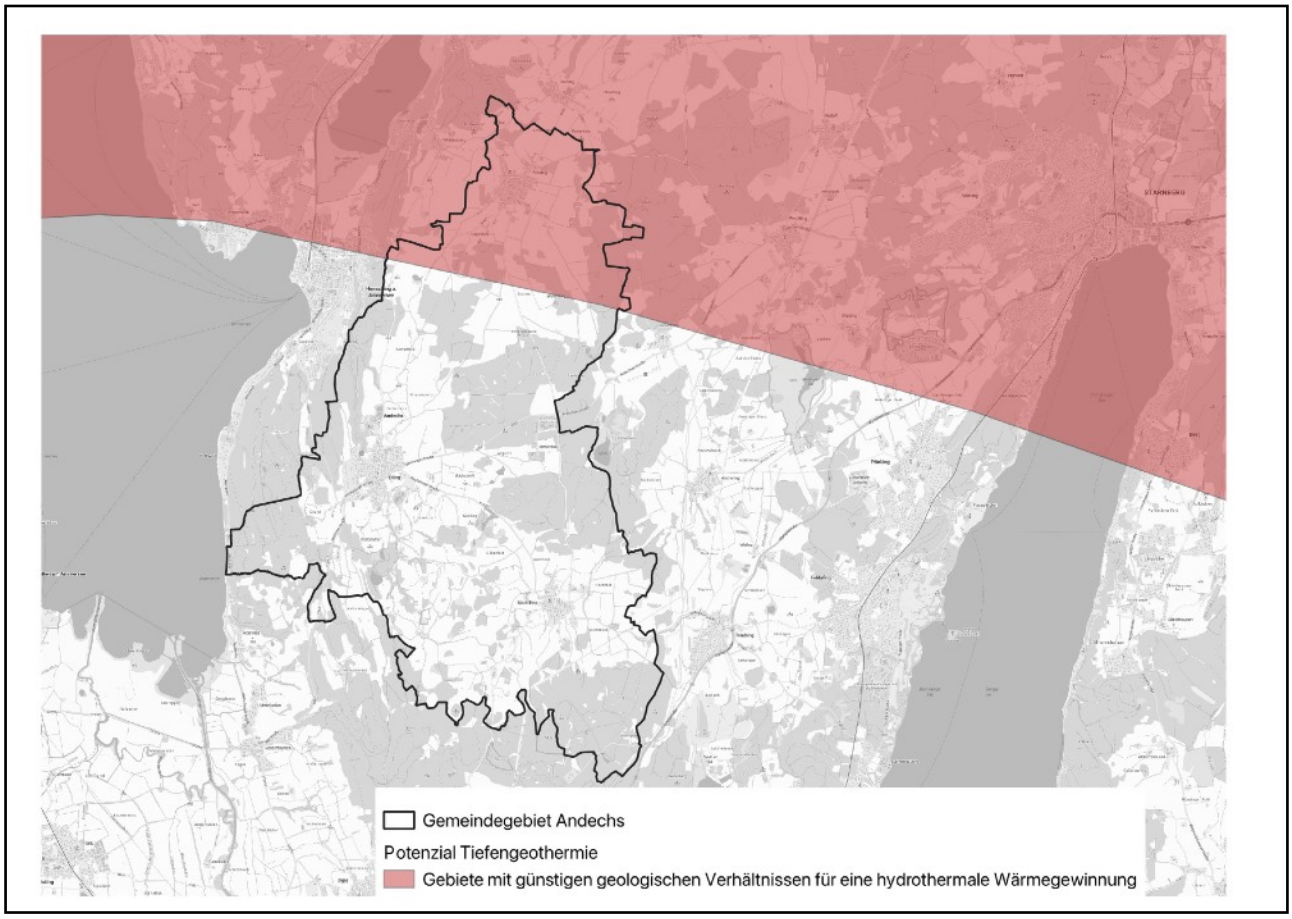
Die Tiefe Geothermie nutzt geothermische Vorkommen in Tiefen zwischen 400 und 5.000 Metern mit großtechnischen Anlagen. Sie versorgen nicht einzelne Gebäude, sondern größere Siedlungsgebiete über Wärmenetzinfrastruktur. In den genannten Tiefen sind – anders als oberflächennah – Temperaturen anzutreffen, die direkt, d.h. ohne Temperaturhub mittels Wärmepumpen, zur Gebäudebeheizung und Trinkwarmwasserversorgung genutzt werden können. Das ist der entscheidende Vorteil der Tiefengeothermie: Dass sie nicht nur wetter-, tages- und jahreszeitenunabhängig zur Verfügung steht und der Flächenbedarf gering ist, sondern das zudem mit Temperaturen, die auch eine Versorgung des unsanierten Gebäudebestands mit seinen überwiegend vergleichsweise hohen Vorlauftemperaturanforderungen ermöglicht und zudem bis auf Pumpstrom keines weiteren Endenergieeinsatzes bedarf. Während der effiziente Einsatz von Wärmepumpensystemen grundsätzlich mit der Bestandsgebäudesanierung (zur Minderung der Heizwassertemperaturbedarfe) einhergehen muss / soll, erlaubt die Tiefe Geothermie den 1:1-Austausch bisheriger Öl- oder Gasheizungen durch eine entsprechende Wärmeübergabestation.

Man unterscheidet zwischen Hochenthalpielagerstätten mit hohen Temperaturen über 200 ºC sowie Niederenthalpielagerstätten mit geringeren Temperaturen. Diese können anlagentechnisch je nach Lagerstättenbeschaffenheit mit hydro- oder petrothermalen Systemen erschlossen werden. Ausreichende vertikal und lateral verästelte wasserführende Gesteinsschichten, die sich vorwiegend in Karsthohlräumen, Klüften, Strörungszonen oder Porengrundwasserleitern finden, können mit hydrothermalen Systemen erschlossen werden. Dabei wird heißes Tiefenwasser über Förderbohrungen an die Erdoberfläche gebracht, über Wärmetauscher zur Versorgung von Wärmenetzen geführt und über Injektionsbohrungen in die Tiefe zurückgeleitet. Im Umfeld von München sind eine Reihe solcher Systeme in Betrieb.

Unter petrothermalen Lagerstätten versteht man heißes Tiefengestein, das frei von Thermalwasser ist und durch geringporige und wenig geklüftete Tiefen- und Sedimentgesteine charakterisiert ist. Durch sog. hydraulische oder chemische Stimulation ist es möglich, bestehende Klüfte aufzuweiten oder kompaktes Gestein aufzubrechen. Durch diese Aufbrechungen lässt man ein Wärmeübertragungsmedium zirkulieren, das über Injektionsbohrungen in die Tiefe und wieder zurückgeführt wird. Hier handelt es sich also um ein geschlossenes System. Der Anwendungsbereich ist breiter, die Technik jedoch neuer. Es entsteht derzeit eine solche Anlage in Geretsried.[38]

Bei der Suche nach einem geeigneten Bohrstandort sind grundsätzlich viele Kriterien zu beachten: Explorationsgeologische Eigenschaften, Grundwasserschutz, Schützenswerte Oberflächengewässer und Biotope, Natur- und Artenschutz, Einbindung in das Landschaftsbild, Immissionsschutzbelange, geeignete infrastrukturelle Anbindung und Bodendenkmalschutz sind die wichtigsten darunter. Tiefenbohrungen unterliegen der bergrechtlichen Genehmigungspflicht, ein bergrechtliches Beteiligungsverfahren unter Einbindung aller relevanten Stakeholder wird durchgeführt. Den Bohrungen gehen in der Regel zudem umfangreiche seismischen Messungen und Erkundungen voraus.

[38] Neben diesen beiden Systemen stellen tiefe Erdwärmesonden ein geschlossenes System zur Erdwärmegewinnung dar. Sie bestehen aus einer einzelnen Bohrung in Tiefen zwischen 400 m und mehreren 1.000 m. In einem koaxialen Rohr wird hier das Wärmeträgerfluid durch den äußeren Ring der Bohrung in die Tiefe gepumpt, erwärmt sich dort und steigt über eine Steigleitung im Inneren an die Oberfläche.



Gebiete mit günstigen geologischen Verhältnissen für tiefengeothermische Energiegewinnung (Karte nach Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, 2022)

Das Gebiet zwischen Starnberger See und Ammersee liegt in einer besonders geeigneten geologischen Zone für die Nutzung von hydrothermaler Tiefengeothermie, dem sog. Süddeutschen Molassebecken. Wie die Abbildung zeigt, liegt das nördliche Gemeindegebiet von Andechs am südlichen Rand dieser Zone. Das gesamte Gemeindegebiet liegt im sog. Malm, einer mächtigen Kalk- und Dolomitgesteinsschicht des Oberjura, die unter den jüngsten Schotterablagerungen der Eiszeit liegen. Der Malmkalk ist stark geklüftet und teils verkarstet. Er führt große Mengen an Wasser im „Malm-Aquifer“, dem zentralen Wärmespeicher vieler Geothermieanlagen im Großraum München. Hier werden in Bohrtiefen von knapp drei bis über fünf Kilometern regelmäßig Tiefenwassertemperaturen von etwa 100 bis über 150 °C angetroffen. Tiefenwassertemperaturen über rund 110 °C sind Voraussetzung dafür, dass das Reservoir auch zur durch das EEG mit einem sehr hohen anzulegenden Wert[39] subventioniert Stromerzeugungen genutzt werden kann. Es wird in der Regel nicht streng vertikal gebohrt, sondern mit zunehmender Tiefe seitlich abgelenkt, um die wasserführenden Schicht möglichst effektiv zu erschließen. Die werkstoffliche Auslegung folgt der hydrochemischen Zusammensetzung des Tiefenwassers. Die tiefste der derzeit 25 Bohrungen Bayern liegt in Holzkirchen, wo aus 5.079 Metern Tiefe Thermalwasser mit rund 155 °C gefördert wird.

Insofern das Gemeindegebiet grundsätzlich in einer geeigneten geologischen Zone liegt, besteht auch grundsätzlich das Potenzial dieses zu heben. Und zumindest jene Gemeindeteile mit geothermischer Energie zu versorgen, die sich grundsätzlich für eine netzgebundene Wärmeversorgung eignen. Allerdings ist das Wärmepotenzial einer dem Stand der Technik entsprechenden Doublette (aus Förder- und Reinjektionsbohrung) erheblich größer als der Wärmebedarf der Gemeinde. Für Andechs alleine ergibt eine Tiefengeothermiebohrung mit ihrer spezifischen Größen-, Preis- und Risikostruktur unter Ansatz aktueller technischer Lösungen eher keinen Sinn.

[39] Aktuell 24,82 ct/kWh (§ 45 Abs. 1 EEG).

Allerdings befindet sich in der Nachbargemeinde Herrsching derzeit ein Projekt in der Entwicklung. Erste Bohrungen sind nach aktuellem Stand für 2026/2027 geplant. Prognostiziert wird hier eine maximale Wärmeleistung von ca. 38,6 MW respektive eine jährliche Wärmearbeit von 308,8 GWh. Das entspricht dem mehr als Fünffachen des aktuellen Gesamtwärmebedarfs der Gemeinde Andechs. Der Projektentwickler schließt nicht aus, dass Teile der geothermischen Wärme auch außerhalb Herrschings genutzt werden könnten – Fündigkeit, Finanzierung und insgesamt positive weitere Projektentwicklung vorausgesetzt. Es wäre demnach prinzipiell denkbar, Andechser Gemeindeteile mit Wärme aus dieser Bohrung zu versorgen. Mögliche öffentlichen Wegen folgende Trassen hätten eine Länge von ca. sechs Kilometern nach Erling bzw. ca. viereinhalb Kilometern nach Frieding. Eine Transportleitung nach Erling könnte etwa dem geplanten gemeindeverbindenden Radweg nach Herrsching folgen. Herausfordernd sind allerdings nicht nur die unvermeidlichen Wärmeverluste, die solche Leitungen auch bei dem Stand der Technik entsprechenden Rohrleitungsdämmungen unweigerlich aufweisen, sondern auch die Kosten solcher vergleichsweise langer Transportleitungen, zumal hier ein erheblicher Höhenversatz vorliegt. Das Heizwasser müsste ca. 120 (Erling) bzw. ca. 100 (Frieding) Höhenmeter überwinden, was am Einspeisepunkt (Bohrplatz) einen (kostenmehrenden) hohen Netzwasserdruck zur Folge hätte. Die Trassierung nach Frieding wäre zudem topographisch herausfordernd.

6.2.3. Biomasse

Unter den erneuerbaren Energieträgern ist die feste Biomasse derzeit in Andechs vorherrschend. Scheitholz ist der klassische Energieträger für manuelle Hausfeuerungen im ländlichen Raum, in jüngerer Zeit kamen vorwiegend automatisierte Holzhackschnitzel- und Holzpellet-Kesselanlagen hinzu. Es gibt allerdings auch verschiedene Formen flüssiger und gasförmiger Bioenergien. Energetische Nutzungsstrategien sollten vorrangig auf Rest- und Abfallstoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, auf Siedlungsabfällen und Materialien der Landschaftspflege beruhen bzw. auf sog. Kaskadennutzungen, bei denen die energetische Nutzung das letzte Glied einer Verwertungskette biogener Rohstoffe ist. Dadurch werden Konkurrenzen mit anderen Nutzungen gemindert, insbesondere Flächenkonkurrenzen.

Bioenergien sind in der Lebenszyklusbetrachtung annähernd treibhausgasneutral. Bei ihrer Verbrennung wird grundsätzlich die gleiche Menge an CO_2 freigesetzt, welche die Pflanze während ihres Aufwuchses der Atmosphäre entzogen hat, sodass in der Lebenszyklusbetrachtung lediglich die der technischen Nutzbarmachung zuzuordnenden Emissionen anzusetzen sind. In einer Phase der Klimaerwärmung allerdings, in der es darauf ankommt, das heutige bzw. kurzfristige Ausmaß an Treibhausgasemissionen schnell und stark zu senken, ist die klimaschutzfachliche Bewertung von Bioenergien eher negativ. In der aktuellen Situation sollte aus klimaschutzfachlicher Sicht das CO_2 im großen Stil in Biomasse konserviert bzw. gebunden werden.

Unter dieser Einschränkung im folgenden eine Ermittlung lokal verfügbarer Bioenergieressourcen.

6.2.3.1. Energieholz

Holz ist seit jeher einer der wichtigsten Energieträger unserer Breiten. Gerade auch wegen seiner unmittelbaren Verfügbarkeit in den Wäldern der südbayerischen Region. Holz wird als Hackschnitzel, Pellet oder Scheitholz für die thermische Energiegewinnung verwendet. Als erneuerbarer und nachwachsender Rohstoff ist seine CO_2-Bilanz unter der oben genannten Einschränkung wesentlich besser als die fossiler Substitute; der nach GEG anzusetzende Emissionsfaktor für feste Biomasse beträgt mit 20 g/kWh weniger als ein Zehntel dessen von Erdgas (240 g/kWh) oder Heizöl 270 (g/kWh). Zudem ist Energieholzwertschöpfung im Wesentlichen (Pellets mit Einschränkungen) regionale oder gar lokale Wertschöpfung. Die für die Biowärmeversorgung aufgewandten Mittel bleiben im örtlichen Wirtschaftskreislauf, während ihn erhebliche Geldmengen für den Bezug von Fossilenergien verlassen. Biowärmeförderung ist insofern eine Form lokaler Wirtschaftsförderung.

38,8 Prozent der Gemeindefläche (1.568 Hektar) entfallen auf Wald bzw. Forst. Das auf dieser Fläche bislang ungenutzte Potenzial an Energieholz ist abhängig von den Eigentumsverhältnissen und der Sortierpraxis stofflicher Nutzung (Bauholz, Energieholz, etc.). Der Energieholzanteil schwankt je nach Alter der Waldbestände und der allgemeinen Marktlage, d.h. der Nachfrage nach speziellen Sortimenten auf Seiten der Holzindustrie. Normalerweise werden in der Forstwirtschaft rund vier Fünftel des Gesamtertrags als Stammholz und ein Fünftel als Energieholz genutzt. Das Energieholz gilt als Abfallprodukt des Stammholzes. Im Schnitt kann mit zehn Festmetern (fm) pro Hektar im Jahr als Zuwachsannahme über alle Baumarten hinweg gerechnet werden. Geht man von einem Hiebsatz von ca. 40 Prozent des jährlichen Zuwachses aus, so gäbe es theoretisch rund 970 fm pro Jahr an Energieholz. Dabei ist entscheidend, dass im Rahmen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung diverse, artenreiche Waldökosysteme erhalten oder wieder aufgebaut werden und Mindestanteile an Totholzlebensraum im Wald verbleiben, um den Nährstoffhaushalt im Gleichgewicht zu halten.

Etwa 50-60 Prozent der Waldflächen im Gemeindegebiet befinden sich im Eigentum der bayerischen Staatsforsten und werden von diesen bewirtschaftet. Der Rest teilt sich auf in Kleinprivatwald und Kirchenwald. Rund sechs Promille der

Gesamtfläche (9,3 ha) sind Körperschaftwald im Eigentum der Gemeinde Andechs. Aus dieser Verteilung ergeben sich Wärmepotenziale von rund 2.900 MWh/a durch Energieholz aus Staatswäldern, 2.400 MWh/a aus Kleinprivat- und Kirchenwald und die (unbedeutende Menge von) 13 MWh/a aus Körperschaftswald. In der Praxis ist jedoch die organisatorische Verfügbarkeit entscheidend. Vorteil des Staatswalds ist grundsätzlich die Verfügbarkeit vergleichsweise großer Mengen über einen Akteur / Stakeholder. Im Privatwaldsektor bündelt die Waldbesitzervereinigung Starnberg manch kleinteilige Struktur, indem sie für ihre Mitglieder die treuhänderische Holzvermarktung[40] organisiert. Der tatsächliche Hiebsatz in Andechser Privatwäldern ist jedoch nicht bekannt und mit Verfügbarkeiten aus diesen kann nur bedingt verlässlich geplant werden.

Zu den Energieholzpotenzialen aus den Waldbeständen kommt zusätzlich das Potenzial von a) Flur- und Siedlungsholz sowie b) Kurzumtriebsplantagen hinzu. Ersteres wird auf 2.800 MWh/a geschätzt.[41] Letzteres ist mit 9.500 MWh/a auf einer Pflanzfläche von 177 ha in absoluten Zahlen bedeutend, folgt als sog. „dedicated crops“ Flächennutzung jedoch nicht dem Grundsatz der Fokussierung auf Rest- und Abfallstoffe bzw. Kaskadennutzungssystemen. Für die (im Einzelnen sehr komplexe) fachliche Bewertung einzelner Anbauflächen entscheidend ist hier, welche Flächenkonkurrenzen zu anderen Nutzungsformen bestehen und ob möglicherweise sog. indirekte Flächennutzungsänderungen (iLUC) auf den Flächenzugriff für Kurzumtriebsplantagen folgen und wie diese klima- und naturschutzfachlich zu bewerten sind.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, dass der in Kapitel 5.1 bilanzierte aktuelle Energieholzverbrauch im Gemeindegebiet das nachhaltige Potenzial aus Waldrest-, Flur- und Siedlungsholz bereits etwas übersteigt. Auch unter Berücksichtigung zwangsläufiger methodischer Unschärfen in Bezug auf die jährliche Auslastung von Einzelraumfeuerungen und den Energieholzanteil des Nachwuches kann demnach eine kommunale Wärmewendestrategie demach nicht maßgeblich auf im Gemeindegebiet selbst erschließbaren Energieholzressourcen beruhen. Das wird gestützt von einschlägiger Literatur, wonach die Aubaupotenziale in den Nachbarlandkreisen Bad Tölz-Wolfratshausen, Miesbach, Weilheim-Schongau und Garmisch-Partenkirchen auf etwa 10–15 Prozent beschränkt sind.[42] Handelsstrukturen von Energieholz sind zwar lokal begrenzt, machen aber freilich nicht an Gemeindegrenzen Halt. Unter der Annahme, dass die Hälfte des Potenzials an Kurzumtriebsholz nachhaltig erschlossen werden kann, ergibt sich so ein gegenüber der aktuellen Nutzung zusätzliches, lokal erschließbares Gesamtpotenzial an Energieholz von rund 5.500 GWh_{th}/a.

6.2.3.2. Biogas

Durch anaerobe Fermentation biogener Substrate wird Biogas gewonnen, das zu ca. 55-60 Prozent aus Methan und im Übrigen aus CO_2 und zu vergleichsweise geringen Anteilen aus Schwefel und anderen Stoffen besteht. Als Substrate werden im besten Fall Rest- und Abfallstoffe wie z.B. kommunaler und gewerblicher Bioabfall genutzt. Es überwiegen jedoch Anlagen, die zu größeren Anteilen mit siliertem Mais und anderen Energiepflanzenmaterial betrieben werden. In den vorherrschenden landwirtschaftlichen Anlagen wird zudem regelmäßig auch Gülle verwertet. Der zurückbleibende Gärrest ist ein bedeutendes, jedoch auch stark wassergefährdendes Düngemittel, das einen behutsamen Umgang und eine geschützte Lagerung erfordert.

Vor allem vermittelt durch zwischenzeitlich sehr attraktive EEG-Förderung erlebte die Biogasbranche im Zeitraum von etwa 2004 bis 2012 ein starkes Wachstum. Den Betreibern war eine gesetzlich garantierte Vergütung für die Netzeinspeisung von mit Biogas erzeugtem Strom für einen Zeitraum von 20 Jahre garantiert. Eine hohe Investitionssicherheit war gegeben, der Anlagenbau boomte. Nebeneffekt war, dass die bei der Verstromung anfallende Wärme häufig nur zu vergleichsweise kleinen Anteilen genutzt und der Großteil über Notkühler entsorgt wurde (und weiter wird), während benachbarte Siedlungsgebiete vorwiegend mit Heizöl und Erdgas beheizt wurden (und weiter werden).

Mit den EEG-Reformen ab 2014 änderte sich das System grundlegend. Größere Neuanlagen mussten den erzeugten Biogas-Strom nun direktvermarkten, Förderungen und Boni wurden reduziert, Zuschläge über Ausschreibungen ermittelt. Zwar ging der Ausbau hierdurch zurück, doch auch die Inwertsetzung der BHKW-Abwärme gewann an Bedeutung. Vor allem größere Anlagen, die sich in räumlicher Nähe zu einer aufnahmefähigen Gasleitung befinden, verwerten das Biogas nicht vor Ort, sondern speisen es – auf Erdgasqualität aufbereitet – in das öffentliche Gasnetz ein. Über dieses Netz kann das nun Biomethan genannte Produkt deutschland- und europaweit massenbilanziell gehandelt werden und erschließt sich diverse, im Wesentlichen wiederum durch staatliche Förderung aufgespannte Märkte. So kann es – an anderer Stelle dem Gasnetz entnommen – in einem Blockheizkraftwerk verstromt und zu Wärme verarbeitet werden; es kann aber auch als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge genutzt werden, als Brennstoff mit geringem nach GEG anzusetzendem Primärenergiefaktor zur Einhaltung strenger primärenergetischer Gebäudeanforderungen eingesetzt oder bilanziell auf die Beimisch- bzw. Treibhausgasminderungspflichten der Inverkehrbringer von Kraftstoffen angerechnet werden.

---

[40] Von landkreisweit jährlich rund 40.000 fm Holz.

[41] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2023.

[42] Webersinn, J. 2026.

Bayern ist das Bundesland mit den meisten Biogasanlagen in Deutschland. Die Zahl der Anlagen war in den letzten Jahren allerdings leicht rückläufig. In zunehmendem Maße werden Biogas-BHKW nicht mehr als elektrische Grund-, sondern als Spitzenlasterzeuger betrieben; nicht mehr mit 8.000 Vollbetriebsstunden pro Jahr und mehr, sondern mit nur noch der Hälfte oder weniger in Abhängigkeit der Strom-Spotmarktpreise. Großer Vorteil ist insofern die Steuerbarkeit der Stromerzeugung im Gegensatz zu den dargebotsabhängigen Wind- und Solarkraftwerken.

In der Gemeinde Andechs, in der derzeit keine Biogasanlage betrieben wird, beträgt das technische Biogaspotenzial durch pflanzliche Erntehauptprodukte nach einer aktuellen, im Energieatlas Bayern veröffentlichten Studie[43] rund 10.300 MWh/a und durch pflanzliche Nebenprodukte weitere 410 MWh/a. Da im Kontext der Kommunalwärmeplanung jedoch vor dem Hintergrund der dargelegten grundlegenden Bewertung und vermittels gesetzlicher Bestimmungen lediglich auf das Potenzial von Rest- und Abfallstoffen abzustellen ist, bleibt dieses vorliegend unberücksichtigt.

Das auf im Gemeindegebiet anfallenden kommunalen Rest- und Abfallstoffen beruhende technische Biogaspotenzial bemisst sich mit 670 MWh/a. Es ist allerdings fast vollständig externalisiert, da der kommunale Biomüll in der Verantwortung der AWISTA Starnberg KU durch die Müllabfuhr gesammelt, in Weßling zu größeren Transporteinheiten umgeschlagen und sodann zu einer Verwertungsanlage im Norden von München transportiert[44] und Grüngut in der Kompostieranlage Hadorf gesammelt wird. Andechs ist somit auch ein Exporteur von Energierohstoffen, zumindest unter Ansatz kommunaler Bilanzgrenzen.

Verbleiben die Reststoff-Potenziale der örtlichen Landwirtschaft. Gülle und Festmist fallen zu Mengen an, die einem technischen Biogaspotenzial von 4.645 MWh/a entsprechen. Unter Ansatz der jährlichen Vollbenutzungsstunden eines durchschnittlichen Biogas-BHKW entspricht dies einer thermischen Leistung von etwa 800 kW_{th}.

6.2.4. Solarstrahlung

Die Solarstrahlung kann in verschiedener Form mittelbar und unmittelbar zur Wärmeversorgung von Gebäuden und Quartieren beitragen. Grundsätzlich zu unterscheiden sind solarthermische Kraftwerke, die die Solarstrahlung absorbieren oder warme Luft nutzen, und photovoltaische Kraftwerke, die die Solarstrahlung direkt in elektrischen Strom umwandeln. Solarthermische Großkraftwerken, die mit Strahlungsbündelung, Parabolrinnen, Fresnel-Linsen o.ä. ein Wärmeträgermedium erhitzen, Wasserdampf erzeugen und mit Dampfturbinen elektrischen Strom erzeugen, werden vor allem in sehr sonnenreichen Erdregionen betrieben. Der Wärmeversorgung dienende solarthermische Anlagen in Form von Solarkollektoren[45] hingegen sind auch in mittleren Breiten sinnvoll einsetzbar, ebenso Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung.

Der größte Vorteil von solarthermischen Anlagen ist, dass sie mit Grenzkosten nahe Null und ohne zusätzlichen Endenergieeinsatz[46] hohe Temperaturen produzieren können. Der heute überwiegende Anwendungsfall von Solarkollektoren ist die Trinkwarmwasserbereitung in Gebäuden mit oder ohne Unterstützung der Zentralheizanlage. Sie sind insofern Teil eines bivalenten Heizsystems mit in der Regel einer Heizöl-, Erdgas- oder Holzpelletanlage, wobei sie Jahreswärmedeckungsgrade von bis zu etwa 20 Prozent erreichen. Sie werden stets mit Trinkwarmwasser oder Heizwasserpufferspeichern kombiniert. Große Solarkollektoranlagen mit großen Speichertanks können auch deutlich höhere Jahreswärmedeckungsanteile des Gebäudes erreichen, erfordern aber entsprechende architektonische Lösungen. Um Dachflächen von Einzelgebäuden besteht grundsätzlich Flächenkonkurrenz mit der Photovoltaik.

Insbesondere in Dänemark weit verbreitet ist die Freiflächen-Solarthermie mit direkter Einspeisung in Wärmenetze. Meist aus Flachkollektoren bestehende, mehrere Hektar umfassende Solarthermie-Kollektorfelder speisen mit Vorlauftemperaturen von typischerweise 70-90 °C in kommunale Wärmenetze ein und erreichen so in Verbindung mit saisonalen Großspeichern Deckungsanteile von bis zu 50 Prozent. Sie werden stets mit anderen Wärmeerzeugern wie Großwärmepumpen, Biomassekesseln, Gaskessel oder Gas-KWK-Anlagen kombiniert, wobei sie vorrangig einspeisen. Die Technologie ist technisch ausgereift.

Erhebliche Förderungen und stark sinkende Systemkosten haben einen starken Ausbau der Photovoltaik bewirkt. Auch deren Grenzkosten sind nahe Null. Standard-Konfiguration von Einzelgebäuden ist heute eine Aufdach-Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher zu anteiligen Haushaltsstromversorgung mit Überschusseinspeisung ins öffentliche Stromnetz. Kombiniert mit einer Wärmepumpe, wird die PV-Anlage Teil des Wärmeversorgungssystems. Mehr als etwa 20-30 Prozent des Jahresstrombedarfs der Wärmepumpe können allerdings nicht mit vor Ort erzeugtem PV-Strom gedeckt werden; die Jahreslastgänge liegen zu weit auseinander für deutlich höhere Solarstrombeiträge. Auf EEG-Förderung sind

[43] Fraunhofer IEE, LfL & Witzenhausen-Institut 2024.

[44] Wo daraus Biogas, Strom, Wärme und Kompost gewonnen werden.

[45] sog. Vakuum-Röhrenkollektoren und Flachkollektoren.

[46] Ausnahme: Pumpstrom.

gebäudeindividuelle PV-Anlagen kaum noch angewiesen, die Wirtschaftlichkeit ergibt sich im Wesentlichen aus der Vermeidung von Netzstrombezugskosten.

Auch auf größeren Freiflächen erzeugter PV-Strom kann zur Eigenversorgung von z.B. größeren Gewerbe- oder Industriebetrieben genutzt werden, sofern der Netzanschluss des Gewerbes über eine ausreichende Leistung verfügt. Wesentlich weiter verbreitet sind jedoch Anlagen, die den erzeugten Strom vollständig oder überwiegend über das öffentliche Netz vermarkten. Sofern der eingespeiste Strom nicht stromwirtschaftlich an wärmeverbrauchende Anlagen im Gemeindegebiet geliefert wird, haben solche Anlagen de facto keine Beziehung zur Wärmeversorgung der Gemeinde. Zwar wird der eingespeiste Strom physikalisch anteilig oder vollständig im lokalen Zusammenhang verbraucht, nicht aber stromwirtschaftlich. Gemeindeindividuelle Betrachtungen ergeben bei einem deutschland- bzw. europaweiten Stromnetzverbund mit entsprechenden Handelsstrukturen keinen Sinn.

Flächennutzungskonkurrenzen um begrenzte Dachflächen können in Form sog. PVT-Module oder sog. Kraft-Dach-Anlagen gemindert werden. Sie kombinieren die solarthermische und photovolatische Solarstrahlungsnutzung, wobei sich durch erhöhten PV-Nutzungsgrad infolge geminderter Oberflächentemperatur auch Synergieeffekte einstellen können. Die Systemkosten sind allerdings vergleichsweise hoch, die Technik noch nicht so weit verbreitet. PVT-Anlagen werden in der Regel mit Sole-Wasser-Wärmepumpen zu einem sektorkoppelnden Wärmeversorgungssystem kombiniert, wobei allerdings häufig eine zusätzliche (Umwelt-)Wärmequelle erschlossen werden muss, um die Jahresbedarfe gesichert decken zu können.

6.2.4.1. Freiflächen

Das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bauen und Verkehr (StMB) hat ein Konzept zur Auswahl potenzieller Flächen für Freiflächen-Solaranlagen entwickelt. Hier werden Eignungsflächen, generelle Ausschlussflächen und Restriktionsflächen unterschieden. Zu den Eignungsflächen zählen beispielsweise versiegelte Konversionsflächen ehemals wirtschaftlicher, verkehrlicher oder militärischer Nutzung, ehemalige Abfalldeponien, etc. Generelle Ausschlussflächen sind solche, die fachrechtlichen Vorgaben des Naturschutzes, der Landwirtschaft oder der Wasserwirtschaft widersprechen. Landwirtschaftliche Böden mit überdurchschnittlicher Bonität sind ebenfalls ausgeschlossen. Restriktionsflächen haben eine große Bedeutung für Natur, Landschaft, Landwirtschaft oder sonstige öffentliche Belange; sie sind nach Bewertung des StMB für eine Freiflächen-Solaranlage nur bedingt geeignet. Die fachrechtlichen Bestimmungen sind im Einzelfall zu prüfen und können zu Ausnahme- und Befreiungstatbeständen führen. Insgesamt liefert diese Flächenkategorisierung nur einen Orientierungsrahmen, eine Vorstufe zur Vorbereitung einer verbindlichen Bauleitplanung.

Nachfolgende Karte zeigt, welche Flächen sich im Gemeindegebiet nach diesem Kriterien-Katalog des StMB grundsätzlich eignen, wobei Flächen < 0,5 Hektar ebenso aussortiert wurden wie solche, die sich über viele kleine Flurstücke erstrecken.[47] Demnach ergibt sich eine gesamte Eignungsfläche von ca. 88 Hektar, die alle in einem Umkreis von ca. einem Kilometer der Ortsteile Erling, Frieding oder Machtlfing liegen. Diese Flächen eignen sich grundsätzlich sowohl für photovoltaische als auch solarthermische Freiflächenanlagen. Das technische Potenzial beträgt unter Berücksichtigung von Abminderungsfaktoren durch Verschattung und sonstigen Verlusten

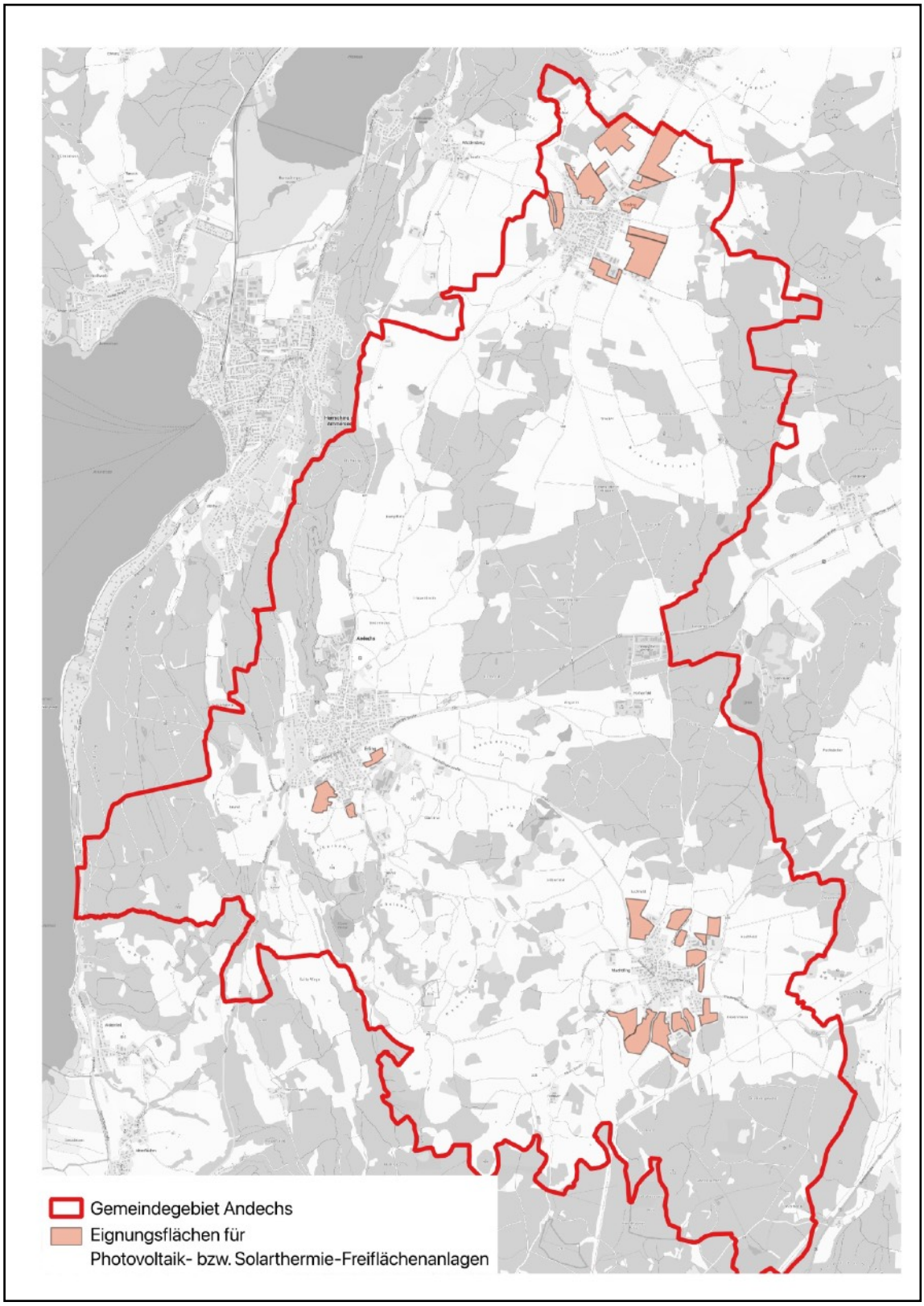
- bei solarthermischer Nutzung von ca. 264 GWh_{th}/a[48] und
- bei photovoltaischer Nutzung von ca. 83,6 GWh_{el}/a.[49]

Solarthermie liefert die ca. dreifache Menge an Endenergie pro Fläche im Vergleich zum Energieertrag an Strom durch Photovoltaik. In Kombination mit Wärmepumpen, die regelmäßig Jahresarbeitszahlen von ca. 3 erreichen, kommt die Photovoltaik allerdings auf die gleiche Flächeneffizienz. In einem Wärmenetz können grundsätzlich beide Technologien kombiniert werden. Das gesamte Gemeindegebiet liegt auf benachteiligten Gebieten im Sinne des EEG §3 als potenzielle PV-Förderflächen. Wesentlicher limitierender Faktor ist allerdings die Aufnahmekapazität des Netzes der allgemeinen Stromversorgung und die Lage von bzw. Entfernung zu möglichen Netzeinspeisepunkten.

[47] Einige Eignungsflächen erstrecken sich über mehrere Flurstücke. Vertiefte Untersuchung müssten die Machbarkeit in weiteren Schritten überprüfen.

[48] unter Ansatz einer standortspezifischen Globalstrahlung von 1.210 kWh/m²

[49] Gesamtleistung ca. 79 MW_p.



Eignungsflächen für Photovoltaik- bzw. Solarthermie-Freiflächenanlagen gemäß der PV-Freiflächenkulisse des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) im Energie-Atlas Bayern.

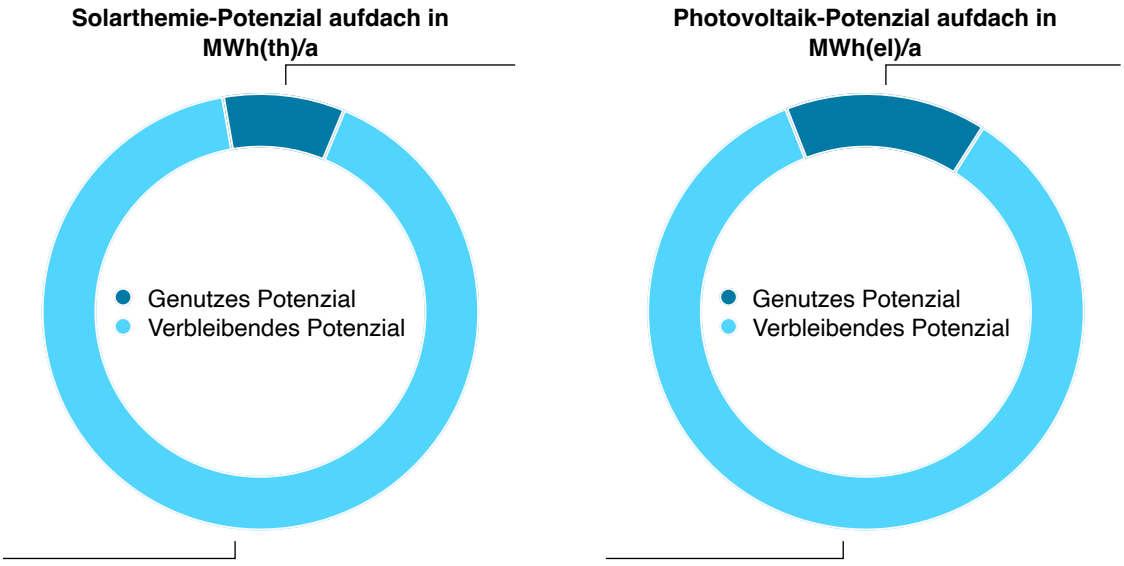
6.2.4.2. Dachflächen

Erhebliches Potenziale zur Energieerzeugung besteht auf den Dachflächen der Siedlungsgebiete. Diese Flächen können entweder für Solarthermie (ST) zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung oder für Photovoltaik (PV) zur Stromerzeugung oder in diese beiden Technologien kombinierender Photovoltaik-Thermie (PVT) genutzt werden. Da sich in den letzten Jahren vornehmlich die Photovoltaik durchgesetzt hat, wird dieser zum Zweck der Potenzialermittlung ein Dachflächenanteil von 90 Prozent zugewiesen – entsprechend 10 Prozent der Solarthermie.

Der Landkreis Starnberg führt ein eigenes Solarkataster, das die Solarpotenziale der Gebäudedächer basierend auf dem Digitalen Oberflächenmodell der Bayerischen Vermessungsverwaltung sowie einer gebäudescharfen Einstrahlungs- und Verschattungsanalyse bestimmt. Demnach sind von den Dachflächen im Gemeindegebiet 72 Prozent für Photovoltaik, neun Prozent für Solarthermie zur Trinkwarmwassererwärmung und sechs Prozent zur Trinkwarmwassererwärmung mit Heizungs-Unterstützung geeignet. Der Anlagenbestand ist in diesen Potenzialwerten berücksichtigt (keine Doppelzählung). Dächer mit einem Verschattungsgrad von mehr als 20 Prozent und Dachflächen unter 20 Quadratmetern (für Photovoltaik) bzw. neun Quadratmetern Kollektorfläche (Solarthermie) werden dabei als ungeeignet klassifiziert. Demnach besteht ein zusätzliches Aufdach-Ertragspotenzial

- von rund 3.000 MWh_{th}/a für solarthermische Wärmeerzeugung und
- von rund 30.700 MWh_{el}/a für Photovoltaikstromerzeugung

Rund zwei Drittel der Dachflächen entfallen auf gewerbliche Betriebe inkl. landwirtschaftlich genutzter Gebäude, drei Prozent auf öffentliche Gebäude und der Rest auf Wohngebäude. Bei Solarthermieanlagen ist in den meisten Fällen eine Südexposition mit vergleichsweise steilem Anstellwinkel sinnig; für die PV-Stromerzeugung eignen sich aufgrund der Lastgänge trotz Ertragseinbußen auch andere Expositionen.



6.2.5. Großwärmespeicher

Großwärmespeicher erlauben es grundsätzlich, zeitlichen Versatz zwischen Wärmeerzeugung und -verbrauch zu überwinden. Sie sind damit wesentlicher Baustein der Integration dargebotsabhängiger erneuerbarer Wärmequellen (Solarstrahlung, Umweltwärme) in Wärmeversorgungsinfrastrukturen.

Es gibt drei Hauptkategorien von Großwärmespeichern: Sensible, latente und thermochemische Speicher.

- Sensible Wärmespeicher speichern Wärme durch Temperaturänderung eines Speichermediums, zumeist Wasser. Sie sind technisch erprobt, vergleichsweise kostengünstig und eignen sich sowohl für die kurz- als auch langfristige Speicherung. In größeren Wärmenetzen werden z.T. Heißwasserspeicher mit mehreren zehntausend Kubikmetern Volumen eingesetzt.
- Latente Wärmespeicher nutzen den Phasenwechsel eines Wärmeträgermediums z.B. vom festen zum flüssigen Aggregatszustand, um Wärme bei vergleichsweise konstanter Temperatur zu speichern. Sie eignen sich mit ihrer relativ hohen Energiedichte insbesondere für Anwendungen mit begrenztem Platzangebot oder zur Abdeckung definierter Temperaturbereiche.
- Thermochemische Speicher speichern Wärme durch reversible chemische Reaktionen. Sie bieten hohe Energiedichten und geringe Wärmeverluste über längere Zeiträume, befinden sich jedoch noch weitgehend im Entwicklungs- oder Pilotstadium.

In Ermangelung eines kommunalen Wärmenetzes bzw. einer bereits erschlossenen volatilen erneuerbaren Wärmequelle gibt es im Gemeindegebiet von Andechs derzeit kein konkretes Potenzial zur Großwärmespeicherung. In dem Maße, in dem genau die jedoch künftig entwickelt werden sollte, sind zentrale Wärmespeicher grundsätzlich wesentlicher Teil des technischen Versorgungskonzepts.

6.2.6. Grüner Wasserstoff

Überschüssiger, in z.B. großen Photovoltaik- oder Windkraftanlagen erzeugter Strom kann grundsätzlich auf dem sog. Wasserstoffweg „gespeichert“ bzw. zur Wasserstoffproduktion genutzt werden. Der insofern im Elektrolyseverfahren erzeugte „grüne“ Wasserstoff kann (gekoppelt) rückverstromt werden, Fahrzeuge antreiben, industrielle Prozesswärme bereitstellen oder in Kesselanlagen zur ungekoppelten Gebäudewärmeversorgung eingesetzt werden. Nachteilig ist die Verlustbehaftetheit der Umwandlungsprozesse: Bei der Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff können nur etwa 60 Prozent der eingesetzten elektrischen Energie in Form von Wasserstoff gespeichert werden. Da bei Verbrennung in einer Therme weitere Verluste entstehe, kann auf diesem Weg nur gut die Hälfte der aufgewandten elektrischen Energie als Wärme nutzbar gemacht werden. Im Vergleich zu Wärmepumpensystemen wird der elektrische Strom so im ein Vielfaches weniger effizient eingesetzt. Es wird auf diesem Weg etwa 6-7 mal mehr Strom benötigt, um eine Einheit Nutzwärme zu erzeugen, als mit einem effizienten Wärmepumpensystem. Vor dem Hintergrund, dass in Andechs keine anders nutzbaren Stromüberschüsse bestehen, wird lokal erzeugtem grünen Wasserstoff deshalb kein konkretes Wärmewende-Potenzial zugeschrieben.

6.3. Transformation des Gasnetzes

Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, über bestehende Erdgasnetze wachsende Anteile an erneuerbaren Gasen zu den Verbrauchsstellen zu leiten. Es ist deshalb nicht pauschal auszuschließen, dass eine Wärmewendestrategie darauf aufbauen kann, bestehende erdgasbasierte Versorgungsstrukturen dem Prinzip nach aufrechtzuerhalten und den Fossilbrennstoff Erdgas lediglich durch einen erneuerbarer Herkunft zu substituieren. Das wäre freilich der Weg des geringsten Widerstands: Die sozusagen mechanische Substitution der Brennstoffbasis, ohne Systemwechsel, ohne lokaler Quellenerschließung und ohne mühsame Bedarfsreduktion. Es stellt sich nur die Frage: Wie realistisch ist ein solches Szenario?

Im Jahr 2025 wurden in Deutschland insgesamt 864 TWh_{hs} über die öffentliche Gasnetzinfrastruktur verteiltes Gas verbraucht. 1,9 Prozent davon (16,3 TWh) waren Biomethan, also Erdgas biogenen Ursprungs. Nachhaltig produziertes Biomethan wird heute unter Berücksichtigung aller Abgaben, Umlagen, Steuern und Entgelte zu einem Mehrpreis von ca. 60 Prozent gegenüber fossilem Erdgas gehandelt. Bei den restlichen 98,1 Prozent handelte es sich um ebendieses fossile Erdgas, das zu ca. 96 Prozent über Pipelines und LNG-Terminals importiert wurde. Vor dem Hintergrund nun sieht das jüngst vom Bundeskabinett verabschiedete, derzeit in parlamentarischer Abstimmung befindliche Gebäude-Modernisierungsgesetz (GModG) vor, dass im Fall eines Heizungstauschs auch weiterhin Gas- und Ölkessel eingebaut werden können sollen, wenn diese mit einem stufenweise ansteigenden Anteil an erneuerbaren Brennstoffen betrieben werden: 10 Prozent ab 2029, 15 Prozent ab 2030, 30 Prozent ab 2035 und 50 Prozent ab 2040. Parallel dazu sollen die Gaslieferanten verpflichtet werden, zunächst etwa ein (!) Prozent, bis 2044 fünf (!) Prozent grüne Gase beizumischen, relevant für die Versorgung aller nicht durch Heizungstausch oder anderweitig gesetzlich Verpflichteter. Zur Einhaltung der Erfüllungspflicht anrechenbar sollen neben Biomethan auch grüner (Elektrolyse mit erneuerbarem Strom), blauer (Erdgas + CO_2-Abscheidung), orangener (biomassebasierte Herstellung) und türkiser (Methanpyrolyse) Wasserstoff und

Wasserstoffderivate wie z.B. synthetisches Methan sein. Mit diesen Anforderungen ist das Ziel der treibhausgasneutralen Wärmeversorgung in 2045 gesichert unerreichbar.

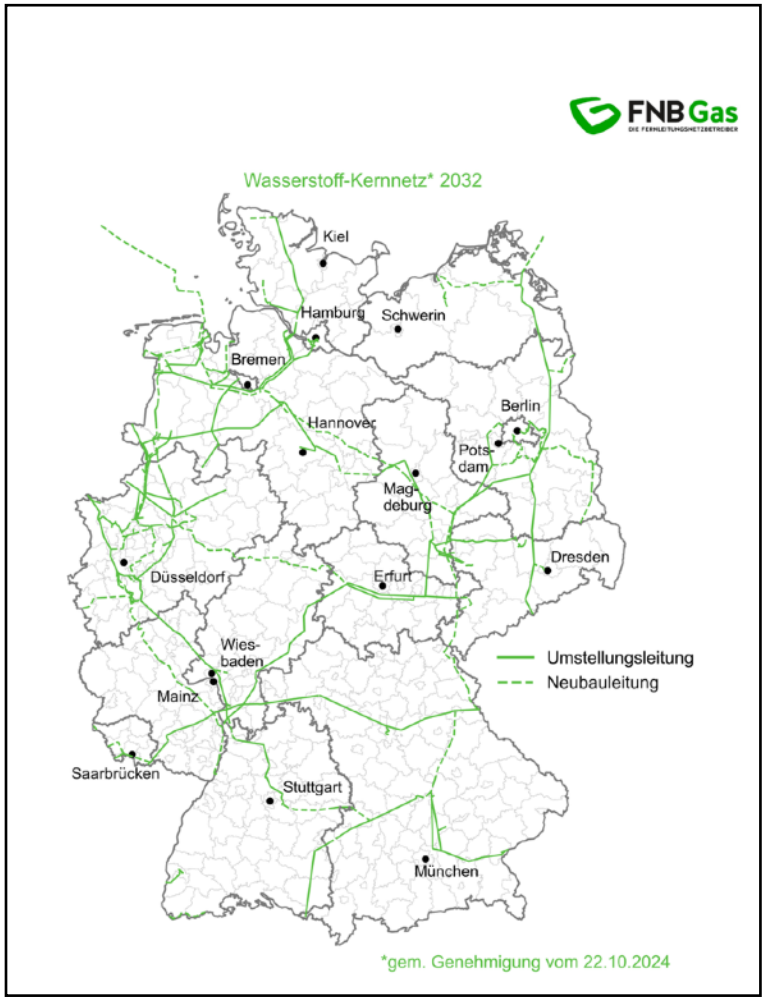
Nach einer Analyse der Deutschen Energieagentur beläuft sich das gesamte nachhaltige, bisher unerschlossene Biomethanpotenzial in Deutschland auf insgesamt 40 - 71 TWh_{hs}/a.[50] Insgesamt ist demnach ein Biomethan-Deckungsanteil des aktuellen Gesamtgasverbrauchs von rund zehn Prozent möglich. Bedeutet: Die im GModG in der vom Bundeskabniett beschlossenen Fassung vorgesehenen Quoten würden selbst bei vollständiger Nutzung des nachhaltigen inländischen Biomethanpotenzials nicht annähernd erreicht werden können. Dafür wären erhebliche Importe von Biomethan erforderlich, was die Probleme nachhaltiger Erschließung und Flächenkonkurrenz mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion lediglich räumlich verschöbe – oder eine im Wesentlichen auf Wasserstoff beruhende Transformation.

Ende 2025 waren in Deutschland lediglich rund 180 MW Elektrolysekapazität in Betrieb.[51] Damit wurden weniger als 0,1 Prozent des deutschen Gasverbrauchs in Form von Wasserstoff produziert. Es gibt keinen relevanten Markt für klimaneutral produzierten Wasserstoff, die Produktionskosten führen grundsätzlich zu nicht annähernd wettbewerbsfähigen Preisen. Ungeachtet dessen verfügt Deutschland nicht annähernd über die nötigen erneuerbaren (Überschuss-)Strommengen, um die benötigten Wasserstoffmengen produzieren zu können und kann diese erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten auch perspektivisch nicht aufbauen. Eine auf Wasserstoff basierende Wärmeversorgungsstrategie muss demnach zum überwiegenden Teilen auf Importen beruhen. Auch diese Mengen sind aktuell de facto nicht bzw. nicht zu wettbewerbsfähigen Preisen verfügbar und es gibt keine belastbaren Anhaltspunkte, dass sich daran kurz- bis mittelfristig etwas grundlegend ändern sollte.

Wasserstoff kann nicht beliebig dem Erdgas beigemischt werden. Aktuell gelten Wasserstoffanteile von bis zu zehn Volumenprozent als technisch gut beherrschbar, höhere Volumenanteile befinden sich der Erprobung. Da der volumenbezogene Energiegehalt von Wasserstoff allerdings nur etwa ein Drittel von Erdgas beträgt, entsprechend zehn Volumenprozent nur etwa 3,5 Prozent bezogen auf den Energiegehalt des Brennstoffs. Höhere Beimischanteile lassen sich Stand heute nur mit Biomethan oder synthetischem Methan realisieren.

Vor dem Hintergrund ist aktuell der Aufbau eines separaten Wasserstoff-Kernnetzes vorgesehen. Dabei handelt es sich um ein eigenes überregionales Transportnetz für Wasserstoff, das vor allem Industriezentren, Kraftwerke, Speicher und Importpunkte verbinden soll. Es soll eine Trassenlänge von rund 9.000 Kilometern umfassen, 40 Prozent davon Neubauleitungen, der Rest umgestellte Erdgas-Bestandsleitungen.[52] Dieses Wasserstoff-Kernnetz ist kein Nachfolger des heutigen Erdgas-Verteilnetzes bis ins Einfamilienhaus. Und wie die Karte zeigt, erstreckt es sich nicht auf das Gemeindegebiet von Andechs und auch nicht auf dessen näheres Umfeld.

In weiteren Stufen ist eine Regionalisierung der Wasserstoffversorgung auf Kernnetzgrundlage vorgesehen. Der örtliche Gasverteilnetzbetreiber in Andechs weist darauf hin, dass Gespräche mit Großkunden über eine



[50] https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Analyse_biogaspartner_Biomethanbedarf_Gebaeudeenergiegesetzes.pdf.

[51] https://www.dena.de/infocenter/elektrolysekapazitaeten-in-deutschland.

[52] https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/FAQ/Wassertstoff-Kernnetz/faq-wasserstoff-kernnetz.html.

mögliche Wasserstoffversorgung geführt worden seien – so auch mit dem industriellen Großverbraucher in der Gemeinde Andechs – und dass konkrete Mengen samt Umstellplänen der koordinierenden Stelle FNB Gas[53] gemeldet worden seien. In diesen Plänen ist keine Wasserstoffversorgung des Gemeindegebiets bis 2035 vorgesehen, lediglich langfristig („Zielnetz“). Wann welcher Wasserstoff in der Gemeinde Andechs zu welchen Kosten verfügbar sein soll, dazu liegen keine belastbaren Informationen vor.

Es spricht demnach alles dafür, dass sowohl Biomethan als auch klimaneutraler Wasserstoff auch perspektivisch knappe, teure Ressourcen bleiben werden, die energiestrategisch vor allem jenen Anwendungen vorbehalten werden sollten, die schwer elektrifizierbar sind. Darunter fallen insbesondere diverse Formen hochtemperierter Prozessenergie und des Luft- und Schwerlastverkehrs. Für die Gebäudebeheizung werden diese Brennstoffe nach heutigem Stand dauerhaft keine sinnvolle Alternative sein. Die absehbar extreme Verknappung ließe zudem drastische Mehrkosten erwarten. Es spricht demnach viel dafür, dass die mittel- und langfristige Dekarbonisierung des Wärmemarktes überwiegend durch Elektrifizierung und nicht durch erneuerbare Gase erfolgen wird. Bei aller Technoglogieoffenheit kann eine Strategie aus heutiger Sicht nicht auf Wasserstoff und Biomethan für die Gebäudebeheizung in der Breite aufruhen.

[53] Zusammenschluss der überregionalen Gastransportunternehmen in Deutschland.

7. Eignungsgebiete und Zielszenarien

Wie können nun vor dem Hintergrund der Bestandsanalyse bestehender Wärmeversorgung (Kapitel 5) und der Potenzialanalyse für Wärmeeinsparungen und die Nutzbarmachung lokaler erneuerbarer Wärmequellen (Kapitel 6) Zielszenarien (samt Entwicklungspfaden) klimaneutraler Wärmeversorgung mit Einteilung des Gemeindegebiets in Eignungsgebiete für zentrale (netzgebundene) und dezentrale (gebäudeindividuelle) aussehen, die auf die Einhaltung der aktuell gültigen Treibhausgasminderungsziele der Bundesregierung ausgerichtet sind?

Soll eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung bis zum Zieljahr 2045[54] ins Werk gesetzt sein, muss nach Lage der Dinge der Wärmeverbrauch durch Gebäudesanierung und Mäßigung in der Wohnflächeninanspruchnahme per capita deutlich gesenkt und müssen die verbleibenden Bedarfe konsequent mit überwiegend vor Ort erschlossenen erneuerbaren Energien gedeckt werden. Dass diese Energie in nachhaltiger Form im benötigten Ausmaß z.B. über das Erdgasnetz sozusagen von außen kommen kann, man die Lösung des Problems insofern externalisieren kann, dafür gibt es aktuell keine belastbare Grundlage. Mit welchen lokal zu erschließenden Energieträgern und mit welchen Erschließungsformen die Transformation aber im Einzelnen in den Gemeindeteilen gelingen kann, darauf gibt es mehr als eine Antwort. Es wäre vermessen zu glauben, es gäbe einen nach fachlichen Grundsätzen eindeutig ermittelbaren „goldenen Weg“ der Transformation der Andechser Wärmeversorgung zur Nachhaltigkeit. Prognosen sind auch in diesem Fall schwierig, insofern sie die Zukunft betreffen. Gleichwohl können mit dem heute verfügbaren Wissenstand Zielbilder und Wege beschrieben werden, auf die kommunales Handeln bis zur Vorlage besserer, anderer, ergänzender Erkenntnisse ausgerichtet sein sollte.

Im Folgenden werden für den im Andechs am häufigsten vorkommenden Haustyp in einer mäßig („teilsaniert“) und umfassend („generalsaniert“) sanierten Variante konkrete Versorgungssysteme definiert, beschrieben und vergleichend bewertet, sowohl hinsichtlich ihrer ökonomischen, als auch ökologischen Kennwerte. Unter Berücksichtigung dieser und der vorangestellten Ergebnisse der Bestands- und Potenzialanalyse wird das Gemeindegebiet mit demheutigen Wissensstand sodann in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete (grundsätzliche Eignungsgebiete) unterteilt. Schließlich werden auf dieser Grundlage zwei Zielszenarien der Zielerreichung vorgestellt, einschließlich der jeweiligen Entwicklungspfade dorthin.

7.1. Vergleichende Bewertung konkreter Versorgungssysteme

Das aktuelle Andechser Durchschnittsgebäude[55] ist ein Einfamilienhaus aus den 1970er Jahren mit etwa 158 Quadratmetern Wohnfläche, das von drei Personen bewohnt und mit einer Öl- oder Gas-Zentralheizung, aber auch mit einem mit Scheitholz befeuerten Kaminofen beheizt wird. Von diesem Haus gibt es idealtypisch zwei Varianten, eine allenfalls mäßig teilsanierte und eine aufwändiger generalsanierte. Für diese beiden „Standardhaustypen“ werden im Folgenden die ökologischen Kennwerte und die Vollkosten diverser konkreter Wärmeversorgungssysteme miteinander verglichen.

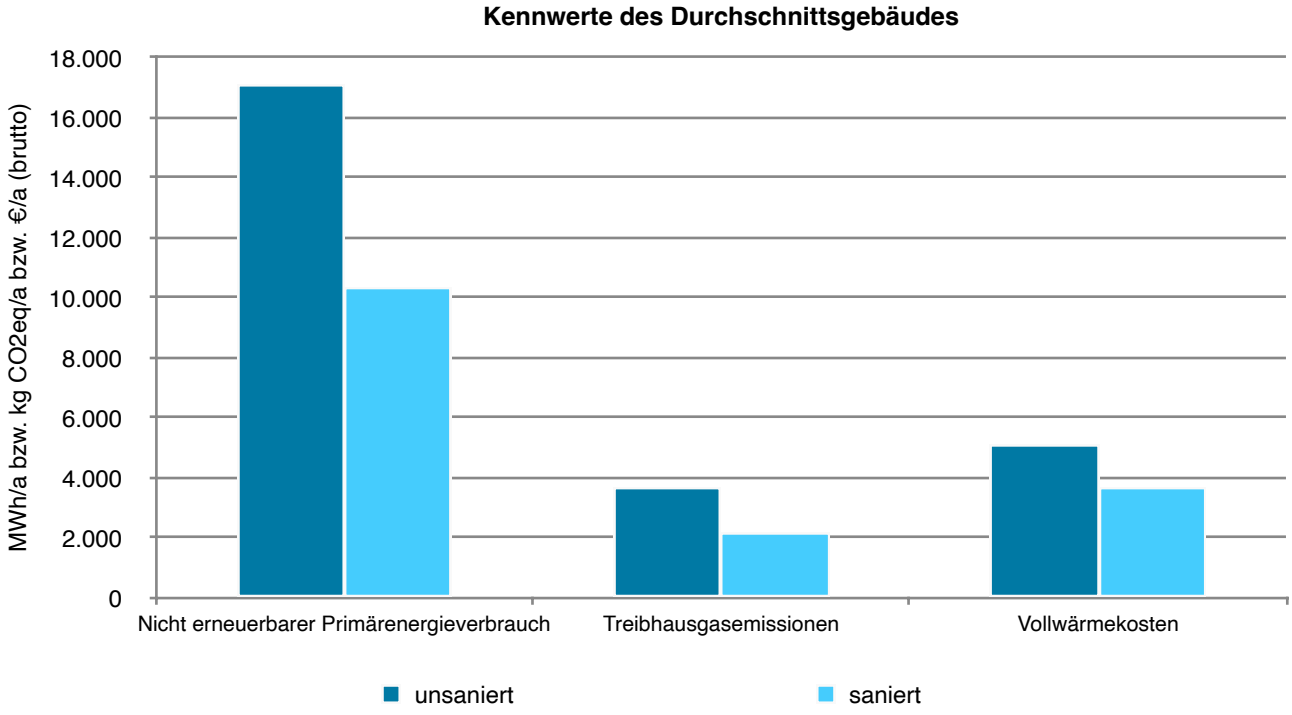
		Durchschnittsgebäude	
		unsaniert	saniert
Über das Gebäude			
Art des Gebäudes		Wohngebäude	
Anzahl Nutzeinheiten		1	
Pro Person in Anspruch genommene Wohnfläche	m^2	52,5	
Wohnfläche	m^2	157,5	
Anzahl Bewohner		3	
Wärmebedarfe			
Erzeugernutzwärmeverbrauch	kWh_{th}/m^2a	140	80
	kWh_{th}/a	22.050	12.600
Raumwärme	kWh_{th}/a	19.039	9.589

[54] Gemäß der vorliegend maßgeblichen Bundesgesetzgebung. Das bayerische Klimaschutzgesetz sieht eine Klimaneutralität bereits im Jahr 2040 vor, ohne allerdings eine konkrete Zielvorgabe für den Wärmesektor zu formulieren.

[55] Median.

		Durchschnittsgebäude	
		unsaniert	saniert
Trinkwarmwasser	kWh_{th}/a	3.011	3.011
Heizlast	W_{th}/m^2	78	44
	kW_{th}	12	7
Temperaturbedarfe (Auslegungstemperatur)			
Heizwasser-Vorlauf (bis zu)	°C	65	35
TWW	°C	55	50

Wie die Tabelle im Einzelnen ausweist, hat das Standardhaus im unsanierten Zustand einen jährlichen Erzeugernutzwärmeverbrauch von 22 MWh_{th}, wovon 86 Prozent auf die Raumwärmeversorgung entfallen. Es verfügt über herkömmliche Radiatorenheizkörpern und benötigt vergleichsweise hohe Heizwasser-Vorlauftemperaturen. Der Wärmebedarf der sanierte Hausvariante ist demgegenüber um ca. 43 Prozent gemindert. Hier entfallen nur 76 Prozent des Gesamtwärmebedarfs auf die Raumwärmeversorgung, deren Flächenheizung mit deutlich geringeren Heizwasser-Vorlauftemperaturen auskommt.



Unter der Annahme, dass die Zentralheizung mit Heizöl betrieben wird, ein Viertel des Raumwärmebedarfs mit dem Kaminofen gedeckt wird[56] und die Wärmeerzeuger typische Jahresnutzungsgrade aufweisen, hat dieses zum Zweck der Operationalisierung standardisierte Gebäude einen jährlichen nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauch von 17,1 MWh im unsanierten bzw. 10,3 MWh im sanierten Zustand.[57] Die Wärmeversorgung verursacht damit jährlich Treibhausgasemissionen von rund 3,6 (unsaniert) bzw. 2,2 (saniert) Tonnen CO_2-Äquivalenten. Unter Ansatz typischer Investitionskosten, die mit einem Kalkulationszins von drei Prozent über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren annuitätisch dargestellt werden, typischen für Wartung, Instandsetzung und das Bedienen der Anlage anzusetzenden Aufwän-

[56] Hier ist die Varianz in der Grundgesamtheit mutmaßlich hoch.

[57] Bei der Ermittlung der ökologischen Kennzahlen wird auf das Instrumentarium der AGFW-Normenreihe FW309 zurückgegriffen, die die Bilanzierung des Primärenergiefaktors, Emissionsfaktors und der Deckungsanteile von Wärmenetzen regelt, auf dem Gebäudeenergiegesetz beruht und auch auf Einzelgebäude sinnvoll anwendbar ist.

den und aktuellen[58] Bezugspreisen der gemäß einschlägiger Vergleichsportale zum Zeitpunkt der Berichterstattung günstigsten Brennstofflieferanten verursacht die Wärmeversorgung dieser Gebäude jährliche Vollkosten[59] in Höhe von 5.098 (unsaniert) bzw. 3.699 (saniert) Euro, was einem spezifischen Wärmegestehungspreis von 23,12 ct/kWh$_{th}$ (unsaniert) bzw. 29,35 ct/kWh$_{th}$ entspricht. Insofern Kesselanlagen und Kaminöfen in der Praxis länger betrieben werden, als die hier angesetzten 20 Betriebsjahre, liegen die Kosten niedriger; 20 Betriebsjahre sind jedoch die nach allgemeinen Fachnormen[60] anzusetzende technische Lebensdauer, auch die finanzbuchhalterische Abschreibungsdauer (AfA) ist entsprechend.

Mit diesem insofern definierten Standard (Basisvariante V0a) werden im folgende Versorgungssysteme hinsichtlich ihrer ökologischen und wirtschaftlichen Kennwerte verglichen:

V0	b	Wie V0a, jedoch mit einer Erdgas-Zentralheizung anstelle einer Heizöl-Zentralheizung (alternative Basisvariante)
V1	a	Wie V0b, wobei die Zentralheizung anstelle von Erdgas zu 100 % mit aus Rest- und Abfallstoffen gewonnenem Biomethan betrieben wird
	b	Wie V1a, wobei das Biomethan aus Energiepflanzen hergestellt wird
V2		Ersatz der Zentralheizungsanlagen durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe in Außenaufstellung (Monoblock), kombiniert mit einer Aufdach-Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher. Auch hier deckt der Kaminofen annahmegemäß ein Viertel des Raumwärmebedarfs, um der Wärmepumpe insbesondere im unsanierten Gebäude die Schlechtpunkte bei niedrigen Außentemperaturen etwas zu nehmen. Diese Variante ist aktuell im Neubau und in der Sanierung weit verbreitet.
V3		Wie V2, jedoch anstelle der Luft-Wasser-Wärmepumpe eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, die eine Erdsonde als Umweltwärmequelle nutzt.
V4		Ersatz der Zentralheizung durch eine Holzpellet-Kesselanlage, wobei der bestehende Heizöl-Lagerraum für die Pelletlagerung umgewidmet wird. Entfall des Kaminofens.
V5		Ersatz der Zentralheizung durch einen Anschluss an ein Fernwärmenetz, in das vorwiegend Wärme mit einer industrielle Abwärme nutzenden Großwärmepumpe und nachrangig mit Holzhackschnitzel gewonnene Wärme eingespeist wird. Entfall des Kaminofens.
V6		Wie V5, wobei das Wärmenetz mit Wärme aus einer Tiefengeothermiebohrung eingespeist wird.

Sämtliche angesetzten Parameter ergeben sich aus Anhang 8.

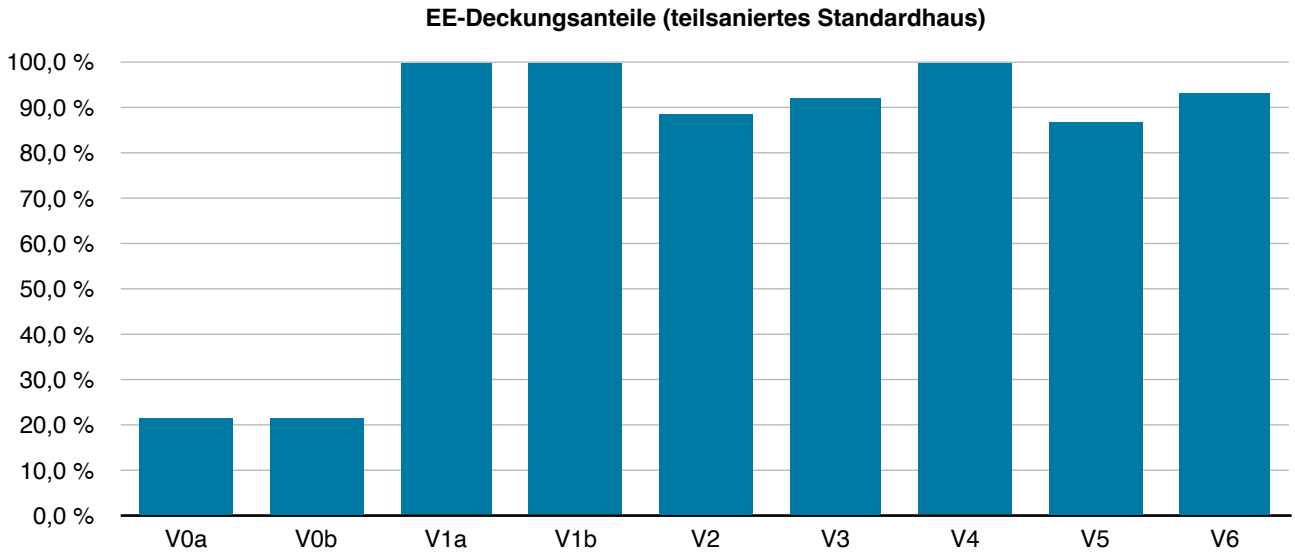
7.1.1. Ökologische Kennwerte

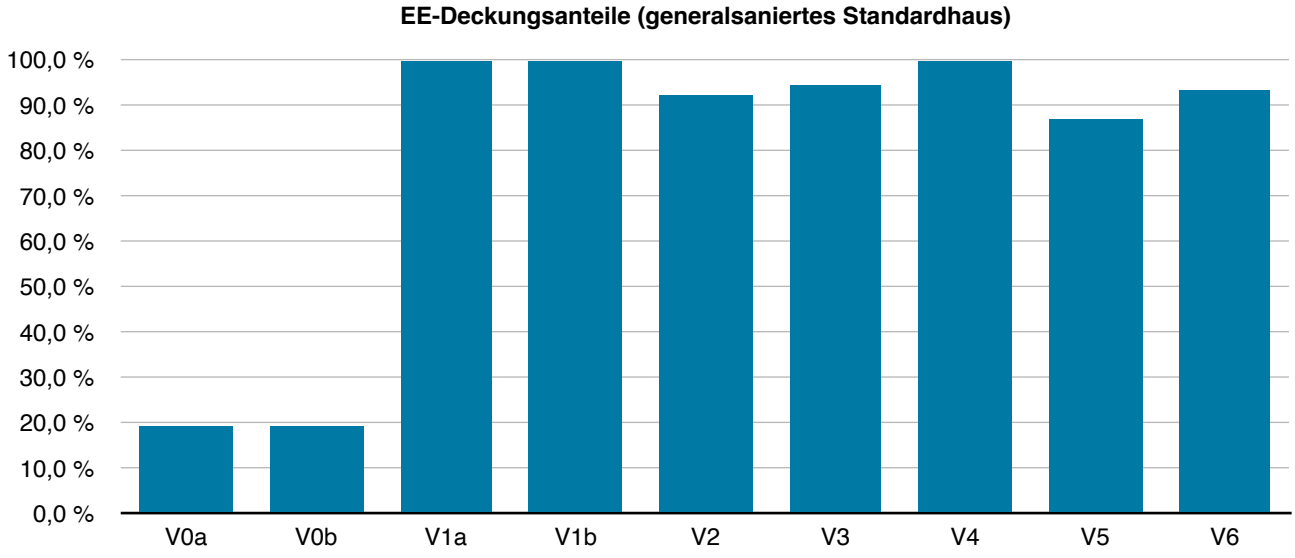
Das Standardhaus deckt seinen Wärmebedarf zu 21,6 Prozent (teilsaniert) bzw. 19,0 Prozent (generalsaniert) erneuerbar (mit Scheitholz); gleiches in der alternativen Basisvariante mit Erdgas. In der alternativen Basisvariante mit Erdgas sind die Treibhausgasemissionen um etwa ein Viertel geringer. In allen anderen Varianten ist der EE-Deckungsanteil entschieden höher (vgl. Diagramm). Den Fossilbrennstoff Erdgas 1:1 ersetzendes Biomethan (V1) ist per definitionem erneuerbare Energie, ebenso Holzpellets (V4); diese Varianten stellen demnach erneuerbare Vollversorgungen dar. Der EE-Deckungsanteil der Wärmepumpenvarianten ist eine Funktion der Jahresarbeitszahl der jeweiligen Wärmepumpe, des Anteil, zu welchem der benötigte Antriebsstrom mit lokaler erzeugtem Sonnenstrom gedeckt werden kann und des EE-Anteil des deutschen Strommix (für den aus dem öffentlichen Netz bezogenen Stromanteil). Er liegt in den betrachteten Varianten aktuell zwischen 88,6 und 94,4 Prozent. Mit zunehmendem Ausbau des EE-Anteils im deutschen Strommix wird dieser Anteil weiter steigen. Die betrachteten Fernwärmesysteme weisen EE-Deckungsanteile von 86,5 bzw. 93 Prozent auf; sie verfügen über fossile Spitzenlasterzeuger.

[58] Stand Mai 2026.

[59] Vollwärmegestehungskosten inkl. gesetzlicher Mehrwertsteuer.

[60] VDI-Richtlinie 2067.



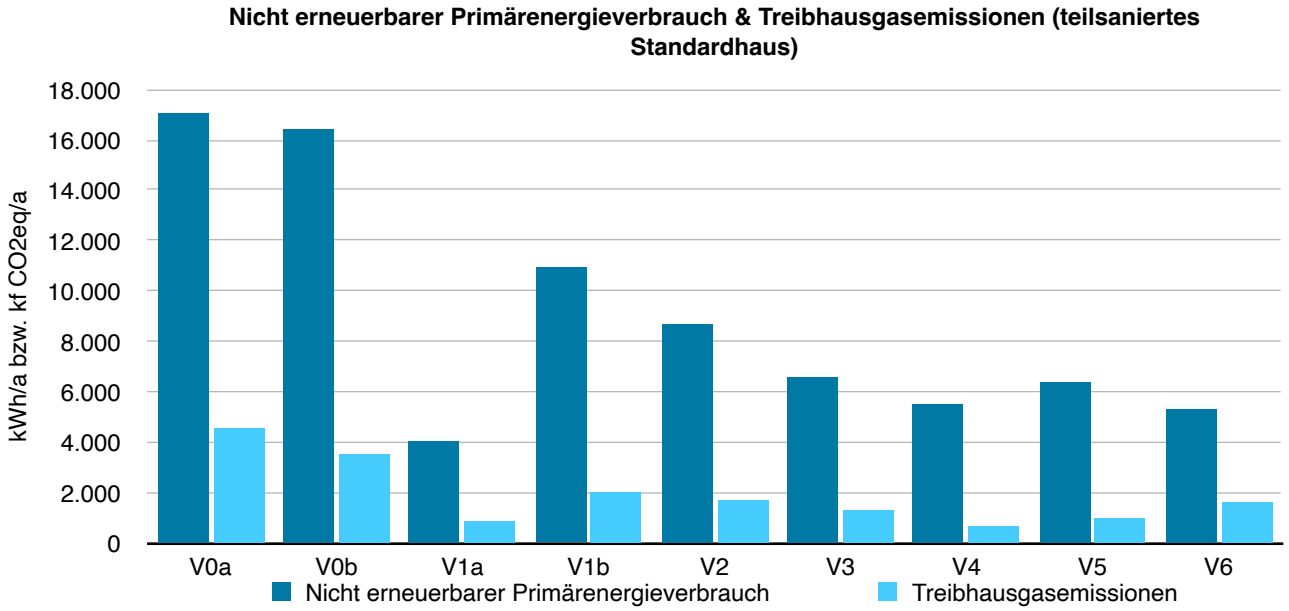


Nun ist der EE-Deckungsanteil einer Versorgungsvariante allerdings nicht mit dem Grad der ökologischen Vorzugswürdigkeit zu verwechseln. Insbesondere deshalb, weil die Bioenergien zwar eine vollständig erneuerbare Versorgung ermöglichen, jedoch vielfältige Zielkonflikte und komplexe Wechselwirkungen mit anderen Nachhaltigkeitszielen aufweisen können und zudem nur begrenzt verfügbar sind. Grundsätzlich ist hier die Unterscheidung zwischen Biobrennstoffen, die aus biogenen Rest- und Abfallstoffen gewonnen werden, und jenen, die direkt (ohne Kaskadennutzung) auf Energiepflanzenanbau beruhen. Letztere weisen grosso modo erheblich mehr Ziel- bzw. Nutzungskonflikte auf und schneiden in der ökologischen Gesamtbewertung erheblich schlechter ab.

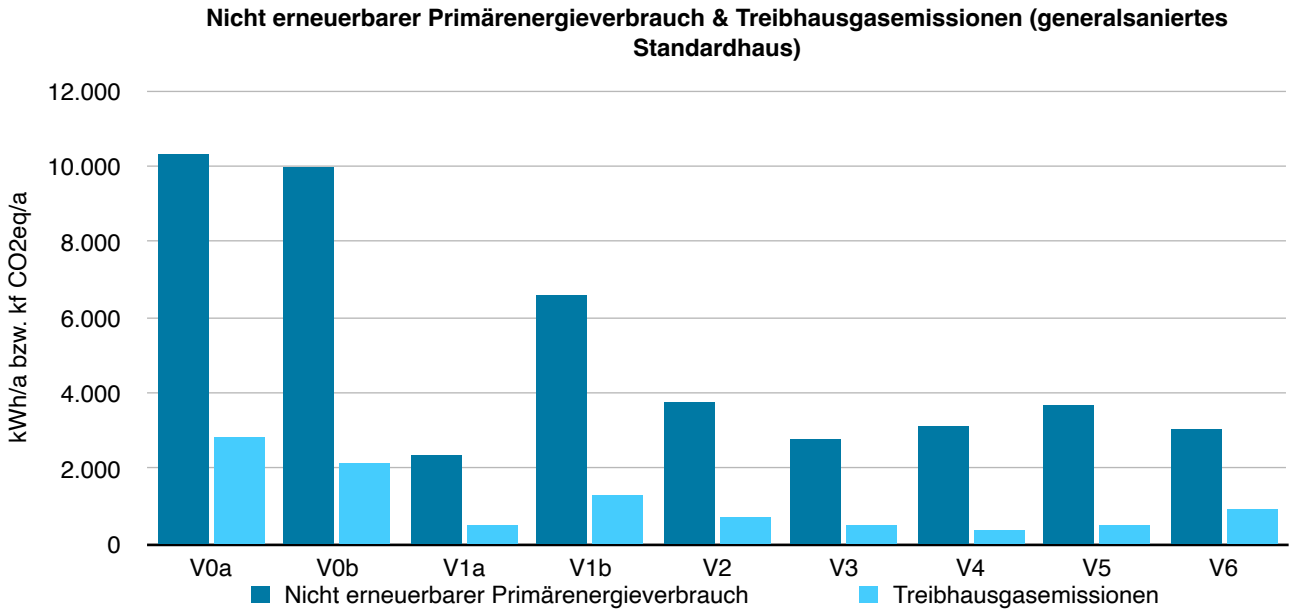
Biomethan ist nach dem GEG mit einem Primärenergiefaktor (bei Einsatz in Gaskesseln) von 0,7 und mit einem Treibhausgasemissionsfaktor von 140 g CO_2eq/kWh$_{hi}$ anzusetzen. Diese Werte korrespondieren mit in der Fachliteratur genannten Werten für aus Energiepflanzen gewonnenes Biomethan; wir setzen die Werte demnach für diese Brennstoffklasse an. Für Biomethan aus Rest- und Abfallstoffen werden vorliegend demgegenüber in Anlehnung an UBA-/GEMIS-basierte Bilanzierungsansätze erheblich geringere Faktorwerte von 0,2 (Primärenergiefaktor) bzw. 50 g CO_2eq/kWh$_{hi}$ ausgegangen, wobei sehr hochwertige Anlagen unter Ansatz von vermiedenen Emissionen alternativer Reststoffverwertungspfade regelmäßig negative Treibhausgasbilanzen aufweisen (trotz Methanschlupf bei der Gasaufbereitung). Für

Holzpellets und andere feste Biomasse wird regelmäßig[61] ein Primärenergiefaktor von 20 und ein Treibhausgasemissionsfaktor von 140 g CO_2eq/kWh$_{hi}$ angesetzt; Werte, die ausschließlich bei der strikten Verwertung von Resten der stofflichen Holznutzung erreichbar sind. Im Übrigen greifen wir auf den vom UBA veröffentlichen Emissionsfaktor des deutschen Strommix für das Bilanzjahr 2023 (386 CO_2eq/kWh$_{hi}$) und den Primärenergiefaktor für aus dem öffentlichen Netz bezogenen Strom von 1,8 gemäß GEG zurück. Die nachfolgenden Diagramme zeigen das Ergebnis.

Demnach senkt Energiepflanzen-Biomethan (V1b) den Primärenergieverbrauch um rund ein Drittel und die Treibhausgasemissionen um gut die Hälfte gegenüber der Basisvariante. Beruht die Biomethanproduktion auf Rest- und Abfallstoffen (V1a), liegen der Primärenergieverbrauch lediglich bei einem knappen Viertel und die Treibhausgasemissionen bei weniger als einem Fünftel der Basisvariante. Ähnliche Werte erreicht die Pelletvariante (V4). Die Fernwärmevarianten (V5, V6) erreichen wie die Sole-Wasser-Wärmepumpenvariante (V3) etwas geringere Minderungswerte, ebenso die Luft-Wärmepumpen-Variante (V2), deren Werte entsprechend der geringeren elektrischen Effizienz im Vergleich zu V3 etwas schlechter sind. Auch hier gilt: Mit zunehmendem Anteil an EE-Strom im deutschem Strommix werden sich die Kennwerte der Wärmepumpenvariante sukzessive verbessern.



[61] So im GEG sowie bei GEMIS und UBA.

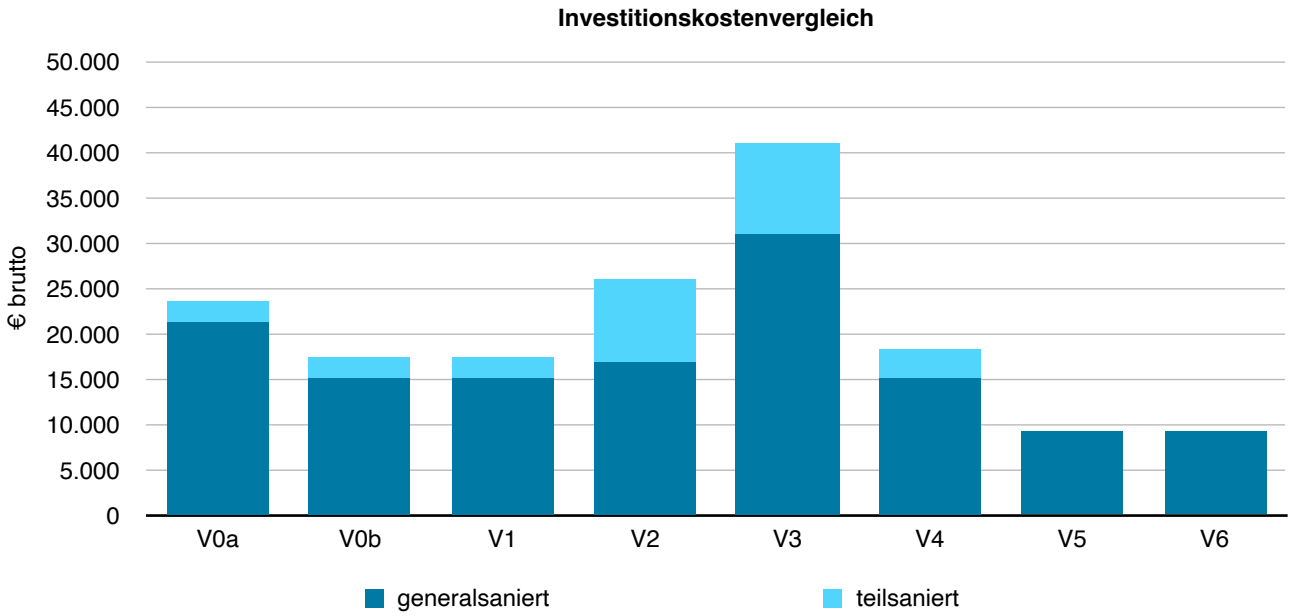


7.1.2. Vollkostenvergleich

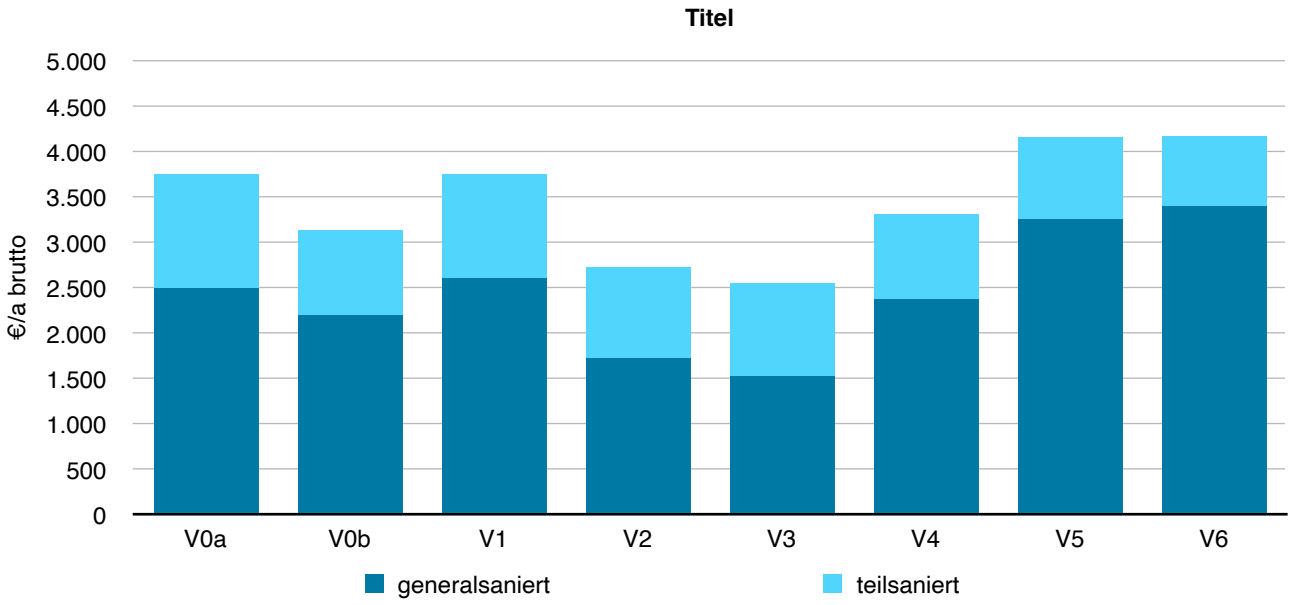
Unter Ansatz typischer Investitionskosten[62] ergibt sich eine Spannbreite von etwa 17.100 - 17.500 € brutto für die Fernwärme- und Gasvarianten (V0b, V1, V5 und V6) über ca. 23.700 € brutto (Heizöl, V0a) und 33.300 € brutto (Holzpellets, V4) bis zu ca. 40.900 € (V2) bzw. 55.900 € brutto (V3) für die Wärmepumpenvarianten.[63] Für die Varianten 2-6 besteht derzeit allerdings die konkrete Möglichkeit erheblicher bundesstaatlicher Zuschussförderung durch die Bundesförderunge effizienter Gebäude (Programmteil Einzelmaßnahmen, sog. BEG-EM). Unter Berücksichtigung dieser und unter der Annahme, dass das Gebäude vom Eigentümer selbst bewohnt wird und dieser über ein Jahreseinkommen verfügt, das in etwa dem deutschen Median-Jahreseinkommen entspricht, ergeben sich folgende Investitionsbedarfe nach Zuschussförderung. Für die Vollkostenermittlung der Wärmegestehung werden auf dieser Grundlage und unter Ansatz einer technischen Lebensdauer von 20 Jahren und eines Kalkulationszinssatzes von drei Prozent annuitätische Kapitalkosten ermittelt.

[62] Bei aktuellem Marktpreisniveau im bayerischen Oberland bzw. unter Ansatz der Preisblätter technisch vergleichbarer Fernwärmesysteme.

[63] Hierin berücksichtigt sind jeweils auch die Einzelraumfeuerungen. Nicht berücksichtigt sind Kosten für Abgaskamine; es wird davon ausgegangen, dass diese vorhanden sind und für die vorgesehende Nutzung allenfalls ertüchtigt werden müssen. Nicht berücksichtigt sind zudem die PV-System. Es wird davon ausgegangen, dass diese auch unabhängig von der elektrischen Wärmeversorgung vorgehalten werden. In den Betriebskosten sind Bereitstellungskosten des PV-Stroms in ct/kWh_{el} berücksichtigt, die sich aus der Opportunität der EEG-geförderten Netzeinspeisung des insofern von den Wärmeerzeugern verbrauchten Stroms ergeben (Opportunitätskostenansatz).



Die Verteilung der laufenden Betriebskosten, die sich im Einzelnen aus Kosten für Inspektion, Wartung, Entstörung, Instandsetzung, Kaminkehren, Aufwand für Bedienen, Brennstoffbezug und dem Strombezug für Hilfsstrom zusammensetzen, ist ausweislich des nachfolgenden Diagramms grosso modo gegenläufig zu den Investitionsbedarfen. Dies ist allerdings eine Momentaufnahme, insofern die Endenergiepreise (Brennstoffe, Netzstrom) erheblichen Schwankungen im Zeitablauf unterliegen. Angesetzt wurden die zum aktuellen Zeitpunkt jeweils am Standort Andechs günstigsten verfügbaren Produkte namhafter Lieferanten gemäß einschlägiger Vergleichsportale. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Marktpreise für Brennstoffe (reine Commodity) nach erheblichen Preisanstiegen insbesondere im Jahr 2022 zuletzt wieder relativ stark gesunken sind. Die Netzentgelte für Strom sind in Andechs nach starken Anstiegen in den Vorjahren zuletzt ebenfalls stark gesunken, dies jedoch infolge politischer Entscheidungen (wesentliche Teile mit Steuermitteln querzusubventioniert). Strompreismindernd war auch der Wegfall der EEG-Umlage im Jahr 2022, ebenfalls ersetzt durch eine Finanzierung aus Steuermitteln. Gegenläufig haben sich zuletzt die Gasnetzentgelte in Andechs entwickelt, sie sind relativ stark angestiegen. Preiserhöhend wirkt zudem in zunehmendem Maße die sog. CO_2-Abgabe nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz, mit der alle fossile Endenergien belastet sind.



Zum aktuellen Zeitpunkt entfallen auf staatlich veranlasste bzw. regulatorisch vermittelte Umlagen, Abgaben, Entgelte und Energie- bzw. Strom steuern rund 48 Prozent des Endkunden-Arbeitspreises für Erdgas bzw. rund 42 Prozent des Endkunden-Arbeitspreises für aus dem öffentlichen Netzbezogenen elektrischen Strom, wobei die Umsatzsteuer noch hinzuzurechnen ist. Beim Netzstrom ist in diesen Angaben (und dem Vollkostenvergleich ingesamt) berücksichtigt, dass zum Antrieb von Wärmepumpen eingesetzter Strom Anspruch auf eine 60-prozentige Netzentgeltminderung gemäß des sog. Entgeltmoduls 2 nach §14a des Energiewirtschaftsgesetzes hat. Der von der Wärmepumpe verbrauchte Strom muss dabei getrennt messtechnisch erfasst und der aus dem öffentlichen Netz bezogene Strom über einen separaten Tarif (separate Lieferbeziehung) abgerechnet werden. Im Kombination mit einer PV-Eigenversorgung, wie in den Varianten 2 und 3 angenommen, ist hier nach aktuellem Stand und vorbehaltlich sog. intelligenter Messsysteme (iMSys) ein sog. Kaskadenmesskonzept gemäß nachfolgender Abbildung erforderlich, um sowohl den Haushalt, als auch die Wärmepumpe vorrangig mit eigenerzeugtem PV-Strom versorgen zu können und zudem die o.g. Netzentgeltminderung für den von der Wärmepumpe verbrauchten Netzstrom in Anspruch nehmen zu können.

Wenn ein iMSys verbaut ist, kann für Wärmepumpen alternativ auch das Netzentgeltmodul 3 angewendet werden. In diesem ist das Netzentgelt zu bestimmten Tageszeiten um etwa 90 Prozent gemindert, allerdings nur an zwei Quartalen des Jahres, wobei die Tageszeiten und auch die Quartale vom zuständigen Verteilnetzbetreiber jedes Jahr neu festgelegt werden. Im Gegenzug zu der starken Minderung ist das Netzentgelt an anderen Stunden des Tages (dem Hochlastzeitfenster des Netzes) stark erhöht. Steuerungstechnisch besteht bei Nutzung von Modul 3 die Anforderung darin, den Wärmepumpenbetrieb im Rahmen der thermischen Flexibilitäten nicht nur in die Zeiten des PV-Stromangebots, sondern auch in die Zeiten des geringen Netzentgelts zu verschieben, wobei Zwischenspeicherung zu beachten ist. In Verbindung mit einem sog. dynamischen Stromtarif, bei dem sich der Bezugspreis des Stroms (nur die reine Commodity) stündlich ändert, entsteht ein vergleichsweise komplexes System mit erheblichem Kostenminderungspotenzial.

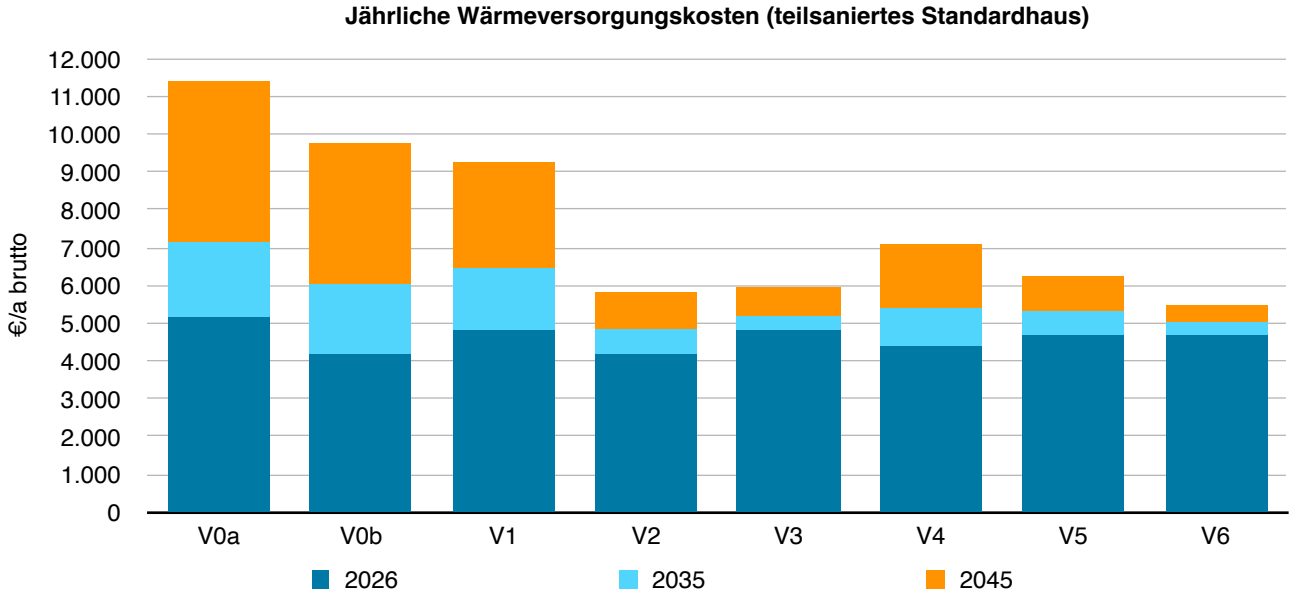
In der Gesamtbetrachtung ergeben sich die in den nachfolgende Diagrammen dargestellten Vollwärmegestehungskosten für das teilsanierte und das generalsanierte Standardhaus. Es zeigt sich, dass die in Andechs derzeit am weitesten verbreitete Wärmeversorgungstechnologie – Heizöl-Zentralheizung mit Scheitholz-Kaminofen – bei aktuellen Preisen für das allenfalls teilsanierte Standardhaus tatsächlich bereits heute die teuerste der betrachteten Wärmeversorgungsvarianten ist, während aktuell kein Versorgungssystem günstiger als eine Erdgas-Zentralheizung (+ Scheitholz-Kaminofen) ist. Nur unwesentlich teurer sind derzeit Luft-Wasser-Wärmepumpen (+ Scheitholz-Kaminofen) und Holzpelletkesselheizungen. Die höhere Effizienz von Sole-Wasser-Wärmepumpen macht sich nicht bezahlt. Fermwärme mit den angenommenen Preisen vergleichbarer Systeme liegt in einem ähnlichen Preissegment, wobei diese Betrachtung unberücksichtigt lässt, dass Fernwärmeanschlüsse eine Reihe nicht unmittelbar monetisierbarer Vorteile bieten (geringer Platzbedarf, Lieferverpflichtung des Lieferanten, keine laufenden Aufwände, kein Aufwand für Bedienen). Im generalsanierten Standardhaus ist die Luft-Wärmepumpen-Variante (V2) bei aktuellen Preisen die mit Abstand günstigste Wärmeversorgungsoption. Auch hier ist allerdings eine Erdgas-Zentralheizung derzeit vergleichsweise kostengünstig.

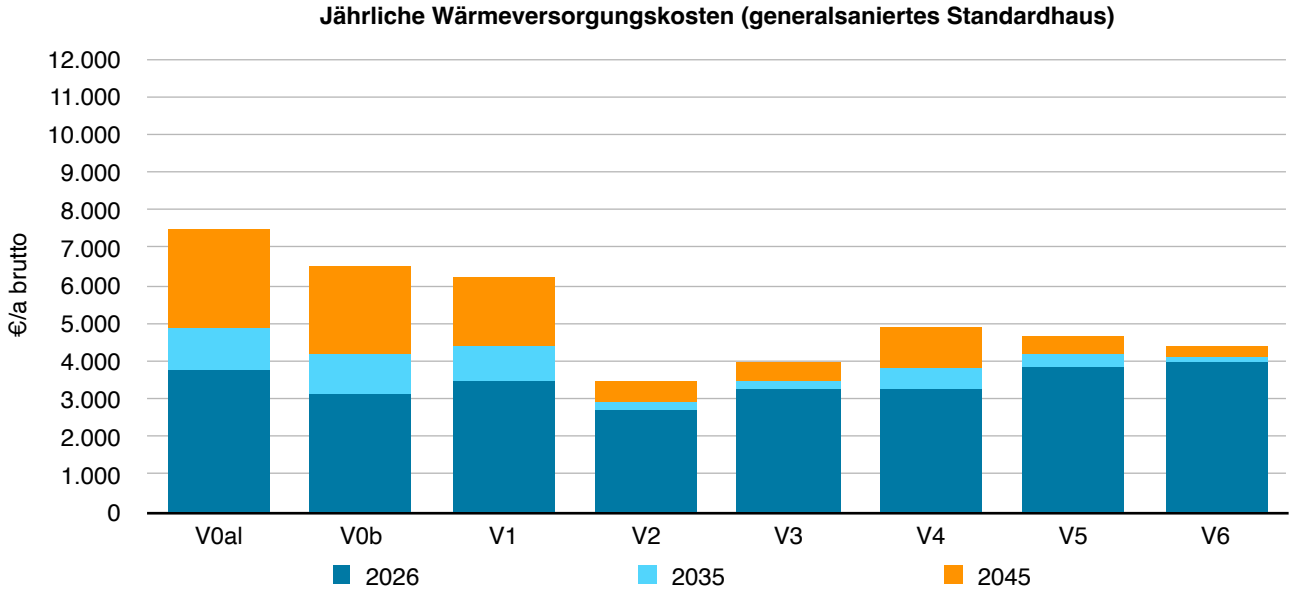
Preissteigerungsannahmen		
Endenergien		
Heizöl	% p.a.	7,0 %
Erdgas	% p.a.	7,0 %
Biomethan	% p.a.	5,0 %
Holzpellets	% p.a.	4,0 %
Scheitholz	% p.a.	3,0 %
Fernwärme V5 (Arbeitspreis)	% p.a.	3,0 %
Fernwärme V6 (Arbeitspreis)	% p.a.	2,0 %
Netzstrom	% p.a.	3,0 %
Betriebskosten	% p.a.	2,0 %

Nun ist es allerdings nicht zweckmäßig anzunehmen, die aktuellen Brennstoffpreise wären im zugrundegelegten Betrachtungszeitraum von 20 Jahren auch nur annähernd konstant. Es ist vielmehr von Preissteigerungen auszugehen, wobei es freilich keine verbindliche Grundlage für den Ansatz von Preissteigerungsraten gibt. Es müssen demnach mit möglichst guten Gründen ausgestattete Annahmen getroffen werden. Vorstehende Tabelle zeigt diese Annahmen. Demnach wird zum Zweck der Vollkostenprojektion angenommen, dass die Preise der Fossilbrennstoffe im Zuge fortschreitetender Verknappung und zunehmender Belastung mit CO_2-Kosten im Betrachtungszeitraum im Jahresdurchschnitt um sieben Prozent steigen. Biomethan, dessen Marktpreis an den von Erdgas gekoppelt ist und nicht durchwegs (abhängig von Herkunft und Nachweisführung) von der CO_2-Abgabe entlastet ist, steigt annahmegemäß mit fünf Prozent p.a. eben-

falls recht stark. Die überregional gehandelten Holzpellets folgen dieser Entwicklung leicht gedämpft, das nur lokal gehandelte Scheitholz etwas weniger. Beim Netzstrom wird angenommen, dass der starke geplante Zubau von Solar- und Windstromerzeugung mit ihren gegen Null laufenden Grenzkosten preisstabilisierend wirkt. Die Betriebskosten tiefengeothermischer Fernwärme sind im Wesentlichen konstant, die geltenden Vorschriften für gewerbliche Wärmelieferungen (AVBFernwärmeV) erzwingen allerdings eine zumindest anteilige Preisentwicklung entsprechend der allgemeinen Marktpreisentwicklung von (aktuell im Wesentlichen mit fossilen Brennstoffen erzeugten) Fernwärme in Deutschland insgesamt (sog. Marktelement von Preisgleitklauseln).

Unter Ansatz dieser Preisentwicklungsannahmen zeigt der Vergleich der jährlichen Wärmevollversorgungskosten in den Jahren 2035 und 2045 (vgl. Diagramme) ein sehr anderes Bild als das sich bei aktuellen Preisen einstellende. Wärmepumpen-basierte Systeme sind unter diesen Annahmen zukünftig in beiden Betrachtungsfällen sehr günstigste Lösungen, während die Kosten von Fossilanlagen, aber auch die der 1:1-Substitute (Biomethan) überwiegend sehr viel höher liegen. Fernwärmelösungen mit angenommener Preisstruktur sind vor allem beim wenig sanierten Haus wirtschaftlich vorteilhaft, aber auch für das generalsanierte Standardhaus eine wesentliche Verbesserung gegenüber den Fossilreferenzen.



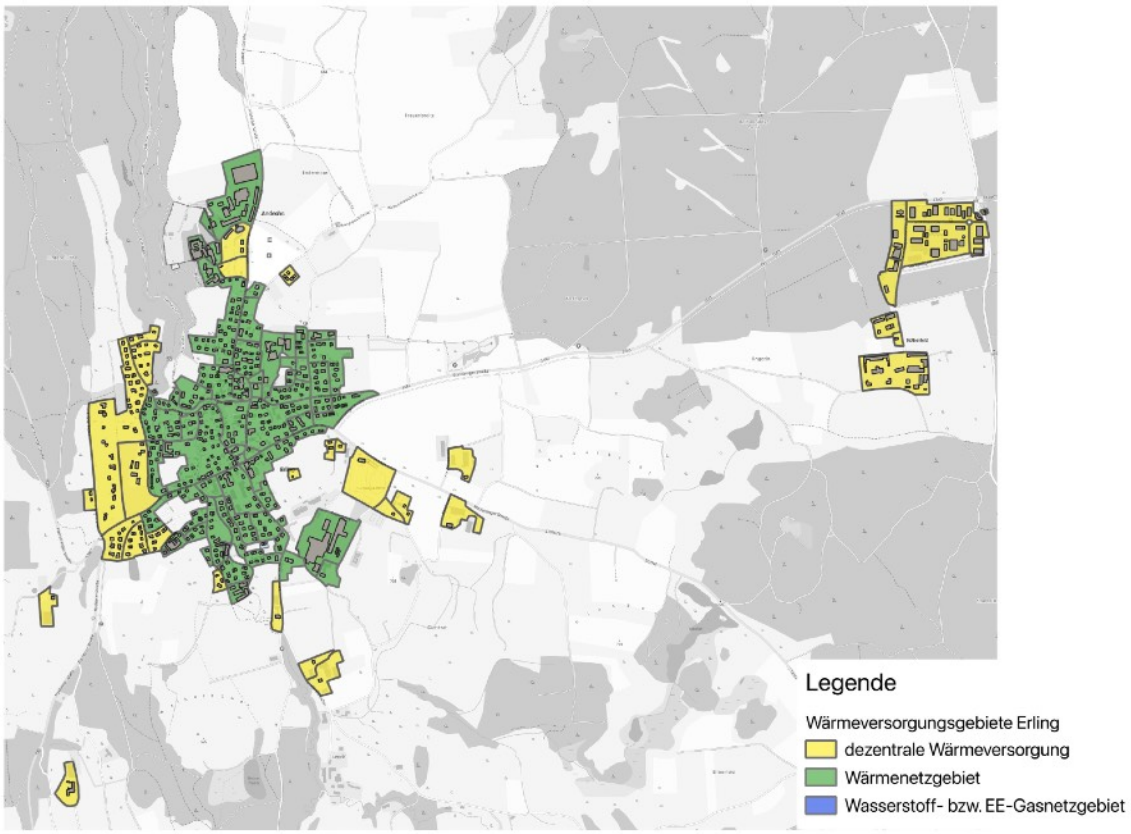


7.2. Einteilung in grundsätzliche Eignungsgebiete

Die Kommunalwärmeplanung ist aufgefordert, für die einzelnen Gemeindegebiete die aus heutiger Sicht, d.h. mit dem heute verfügbaren Wissen, geeignetste Wärmeversorgungsart zu bestimmen, wobei nach Wärmenetzgebieten, Wasserstoff- bzw. EE-Gasnetzgebieten und Gebieten für dezentrale Versorgungssysteme zu unterscheiden ist.[64] Diese Einteilung hat keine unmittelbare rechtliche Bindung und begründet weder Rechte noch Pflichten für private Akteure. Sie dient lediglich als strategisches Planungsinstrument für die zukünftige Entwicklung der Wärmeinfrastruktur in der Gemeinde. Es steht den politischen Gremien der Gemeinde jedoch frei, auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse Beschlüsse mit rechtlicher Bindungswirkung zu fassen und insbesondere einzelne Gebiete durch Satzung, Rechtsverordnung Allgemeinverfügungen nach § 35 Satz 2 VwVfG oder andere Verwaltungsakte als Neu- und Ausbaugebiete für Wärmenetze auszuweisen. In Bezug auf den bei Redaktionsschluss noch rechtskräftige GEG gilt: Sofern der Gemeinderat vor 2028 Neu- oder Ausbaugebiete für Wärmenetze oder Wasserstoff- bzw. EE-Gasnetze auszuweisen sollte, müssen in diesen Gebieten neu installierte Heizanlagen einen EE-Mindestanteil von 65 Prozent aufweisen. Das gilt nur für neu installierte Heizanlagen; Bestandsanlagen haben Bestandsschutz.

Auf Grundlage der Ergebnisse des Kapitels 6.3 gibt es aktuell keine auch nur im Ansatz belastbare Grundlage, auf der Teile des Gemeindegebiets im Rahmen dieser Kommunalwärmeplanung als Wasserstoffnetzgebiete bzw. Gebiete ausgewiesen werden können, die perspektivisch vollständig zu wettbewerbsfähigen Kosten mit über das öffentliche Gasnetz geliefertes Biomethan oder andere erneuerbare Gase versorgt werden. Für Wärmenetzgebiete hingegen ist eine sehr viel differenzierte Bewertung vorzunehmen. In der konventionellen, weitgehend fossilen Energiewelt hat man die Gebietseignung für Wärmenetzerschließungen vor allem an der Wärmedichte festgemacht. Mit dem Ziel vollständiger Transformation zu einem erneuerbaren System binnen sehr kurzer Frist muss der Fokus erweitert werden. So geht es in erster Linie um die Frage, ob relevante Vorkommen erneuerbarer Energie oder unvermeidbarer Abwärme bzw. bestimmte Erzeugungstechnologien nur im Großmaßstab sinnvoll erschlossen werden können und somit eine netzgebundene Wärmesenkenerschließung mittelbar erforderlich machen. Tiefengeothermie ist keine dezentrale, gebäudeindividuelle Versorgungsoption, ebensowenig industrielle Abwärme. Auch dem Einsatz von Holzhackschnitzeln sind aufgrund der logistischen Anforderungen und dem Lagerplatzbedarf engere Grenzen gesetzt. Häufig müssen bestimmte Formen der Wärmegewinnung mit anderen sinnvoll kombiniert werden, was regelmäßig bestimmte Mindestgrößen voraussetzt, um wirtschaftlich sinnvoll darstellbar zu sein. Die Sinnhaftigkeit der Ausweisung eines konkreten Gebiets als „für die Wärmenetzversorgung geeignet“ hängt also neben einem Mindestmaß an Wärmedichte (die bleibt freilich grundsätzlich wichtig) an der konkreten Erschließbarkeit bestimmter EE- und/oder Abwärmevorkommen und der Verfügbarkeit von Flächen für die zentrale Wärmeerzeugung und -netzeinspeisung. Insofern sich diese Vorkommen aus welchen Gründen auch immer tatsächlich nicht erschließen lassen sollten – weil die Tiefengeothermiebohrung wider Erwarten nicht die erhofften Tiefenwasserreservoire angetroffen hat, weil der der Abwärme zugrundeliegende Industrieprozess zum Erliegen kommt, weil die in Aussicht gestellte Fläche doch anderweitig genutzt werden soll – kann die Transformation dieses Gebiets mit dezentralen (i.W. gebäudeindividuellen) Versorgungslösungen die sinnvollere Alternative sein. Unter dieser Maßgabe das Folgende.

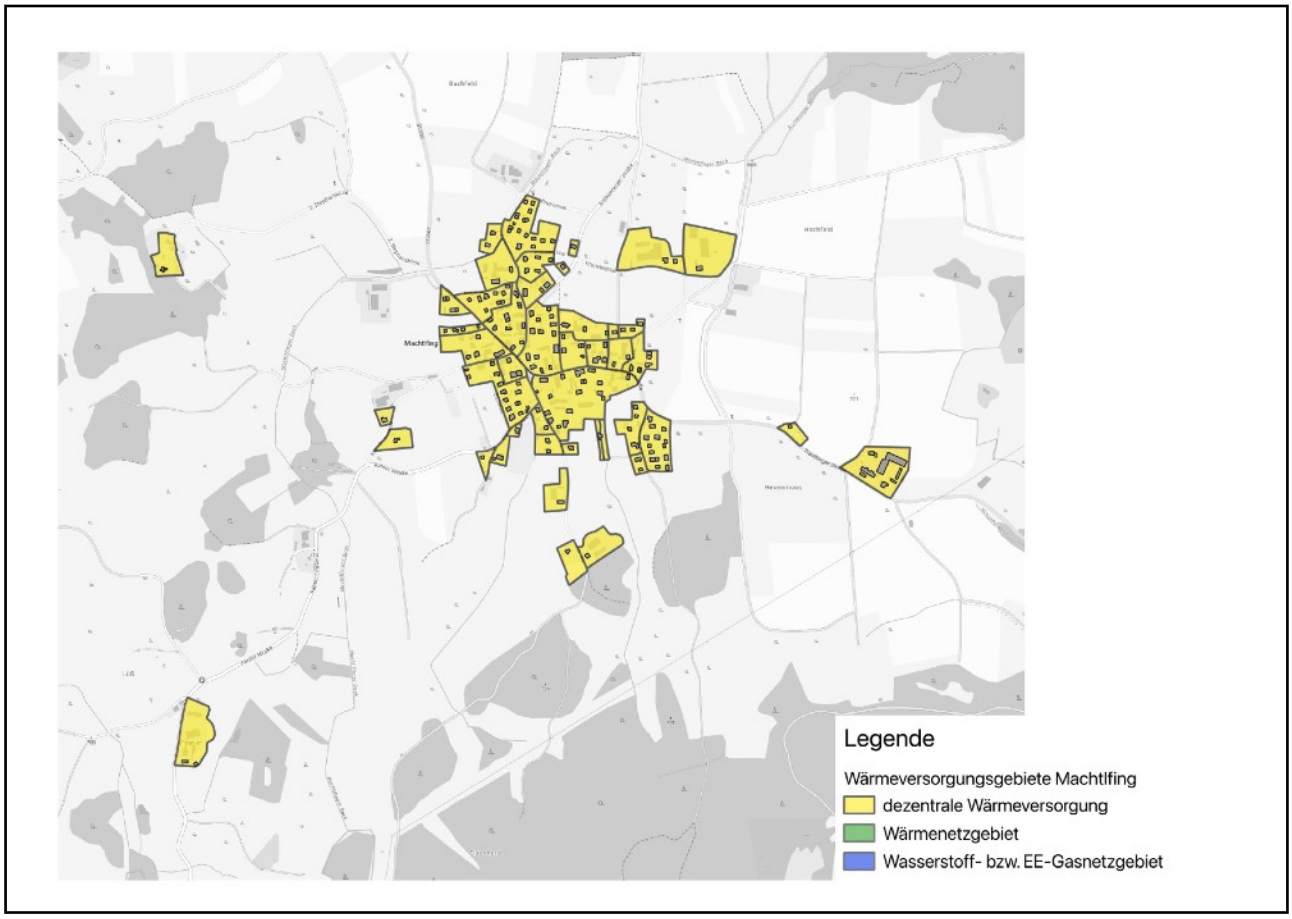
[64] Dabei können Teilgebiete als sog. Prüfgebiete ausgewiesen werden, falls die Voraussetzungen für eine Einteilung unklar sind oder keine klaren Kriterien für eine solche Einteilung benannt werden können.



Einteilung der Gemeindeteile Erling und Rothenfeld in grundsätzliche Eignungsgebiete.



Einteilung des Gemeindeteils Frieding in grundsätzliche Eignungsgebiete.



Einteilung des Gemeindeteils Machtlfing in grundsätzliche Eignungsgebiete.

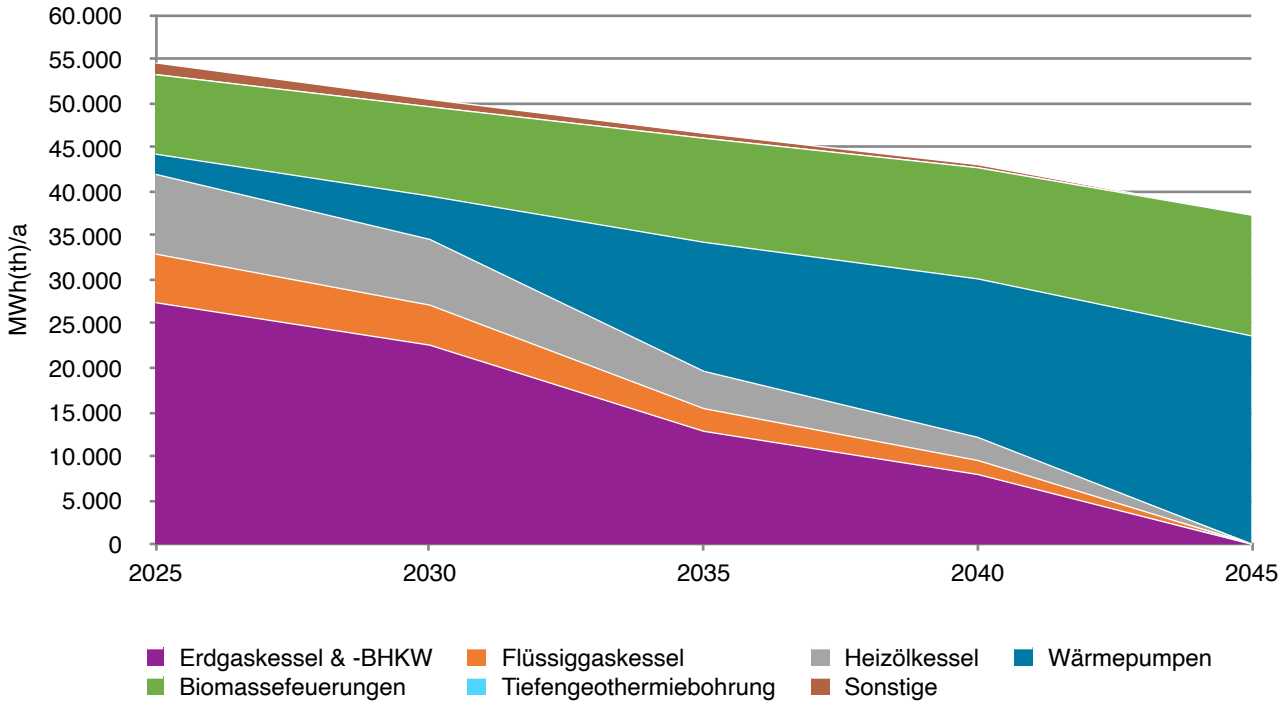
Auf welche Weise diese Ergebnisse ermittelt wurden: In dem sog. „digitalen Zwilling“, der im Zuge der Planerstellung für die Wärmeversorgung des Gemeindegebiets angelegt worden ist, wurden die Teilgebiete auf Grundlage der relevanten Indikatoren Netzbestand, Großkunden, Flächenangebot, Wärmeliniendichte, Baualtersklassen, Gebäudekategorien, Heizungsanlagenalter sowie lokal verfügbare Wärmeerzeugungspotenziale analysiert und vor dem Hintergrund der gleichermaßen ökonomisch wie ökologisch vergleichenden Bewertung typischer Wärmeversorgungssysteme, dem Realisierungsaufwand und den Umsetzungsrisiken flächiger Transformation hinsichtlich der jeweiligen Eignung bewertet.

7.3. Zielszenarien

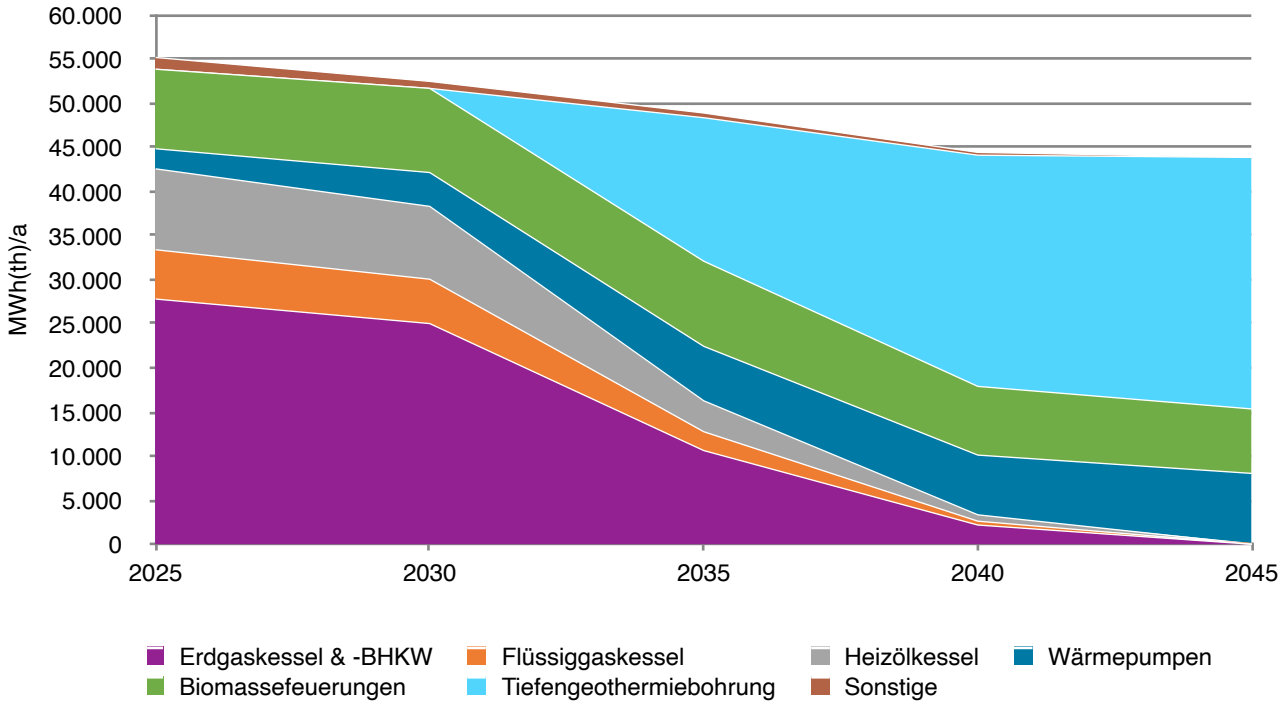
Das bisher Gesagte lässt sich in seiner Gesamtheit zu Zielbildern verdichten, wie sich die Andechser Wärmeversorgung im Jahr 2045 zusammensetzen soll. Wegen seiner so grundlegenden Bedeutung unterscheiden wir hier die beiden Szenarien mit und ohne tiefengeothermischer Erschließung. In einem Szenario mit Wärmeversorgung aus Tiefengeothermie kann bei gegenwärtigen Stand der Technik, der Preise und der Preisentwicklungstendenzen ein deutlich größeres Gebiet und ein größerer Anteil des Prozesswärmebedarfs über Wärmenetzinfrastruktur sinnvoll – das heißt zu wettbewerbsfähigen Preisen – erschlossen werden als ohne Tiefengeothermie, Hier können auch höhere Leitungsverluste toleriert weden als auf knappere Ressourcen (z.B. Holzhackschnitzel) zurückgreifende Netzsysteme. Da aufgrund der Preisstruktur tiefengeothermischer Fernwärme mit typischerweise hohem Grund- und niedrigem Arbeitspreis der Anreiz zur Wärmebedarfssenkung durch Gebäudesanierung und Prozessoptimierung ceteris paribus sinkt, wird hier von einer ledigich moderaten Sanierungsquote ausgegangen. In einem Szenario ohne tiefengeothermischer Erschließung kann nach Lage der Dinge nur ein kleinerer Teil des Gesamtwärmebedarfs sinnvoll netzgebunden erschlossen werden, mithin wird entsprechend der Kostenstruktur und der technischen Restriktionen dezentraler Versorgungsalternativen eine höhere Sanierungstätigkeit unterstellt. In diesem Szenario wird das nachhaltige Potenzial der Biomasse voll ausgeschöpft und der

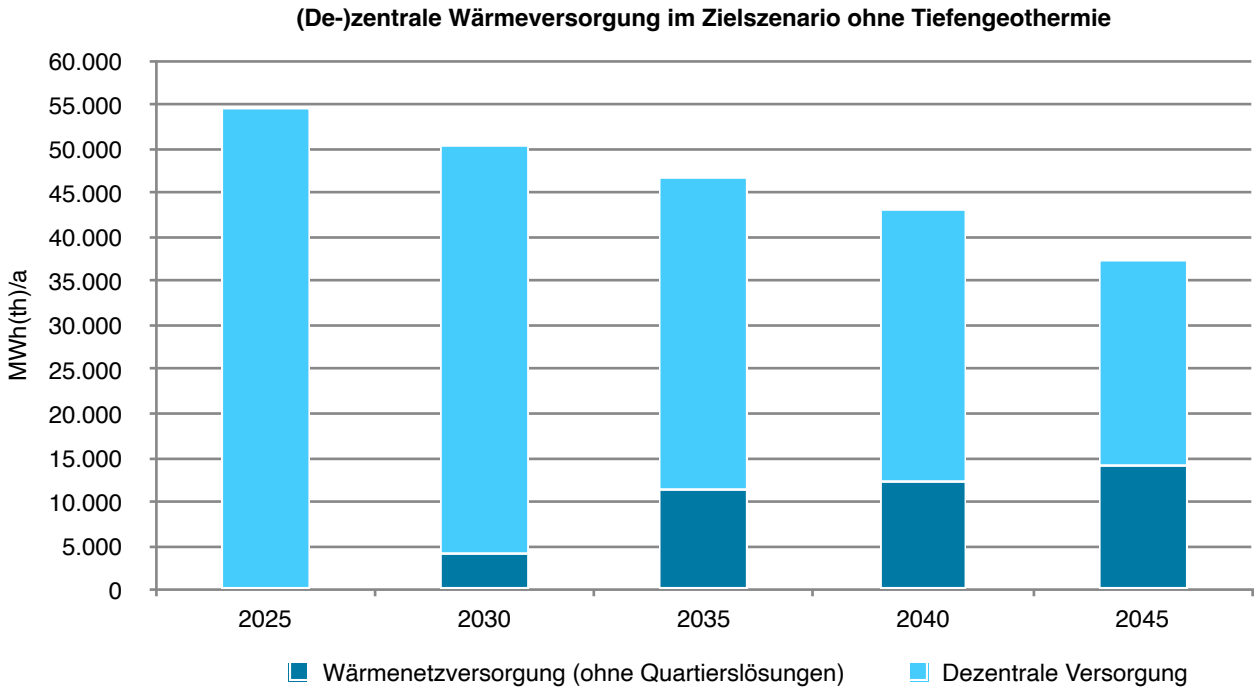
restliche Wärmebedarf mit Wärmepumpensystemen gedeckt, die verfügbare unvermeidbare Abwärme- und Umweltwärmequellen nutzbar machen. Nachfolgende Graphiken zeigen für diese beiden Szenarien die Entwicklung des Nutzwärmemix, der Anteile netzgebundener Wärmeversorgung, des Endenergiemix (Modal Split) und der Treibhausgasemissionen bis zum Zieljahr 2025.

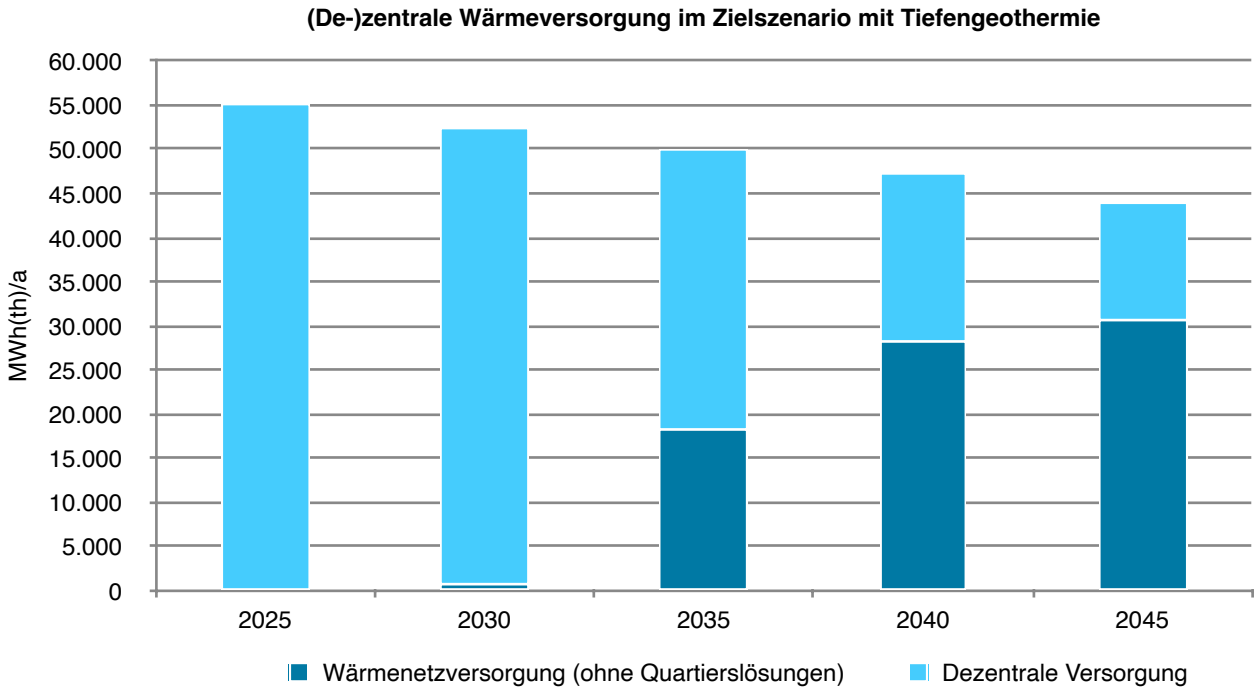
Entwicklung des Nutzwärmemix im Zielszenario ohne Tiefengeothermie

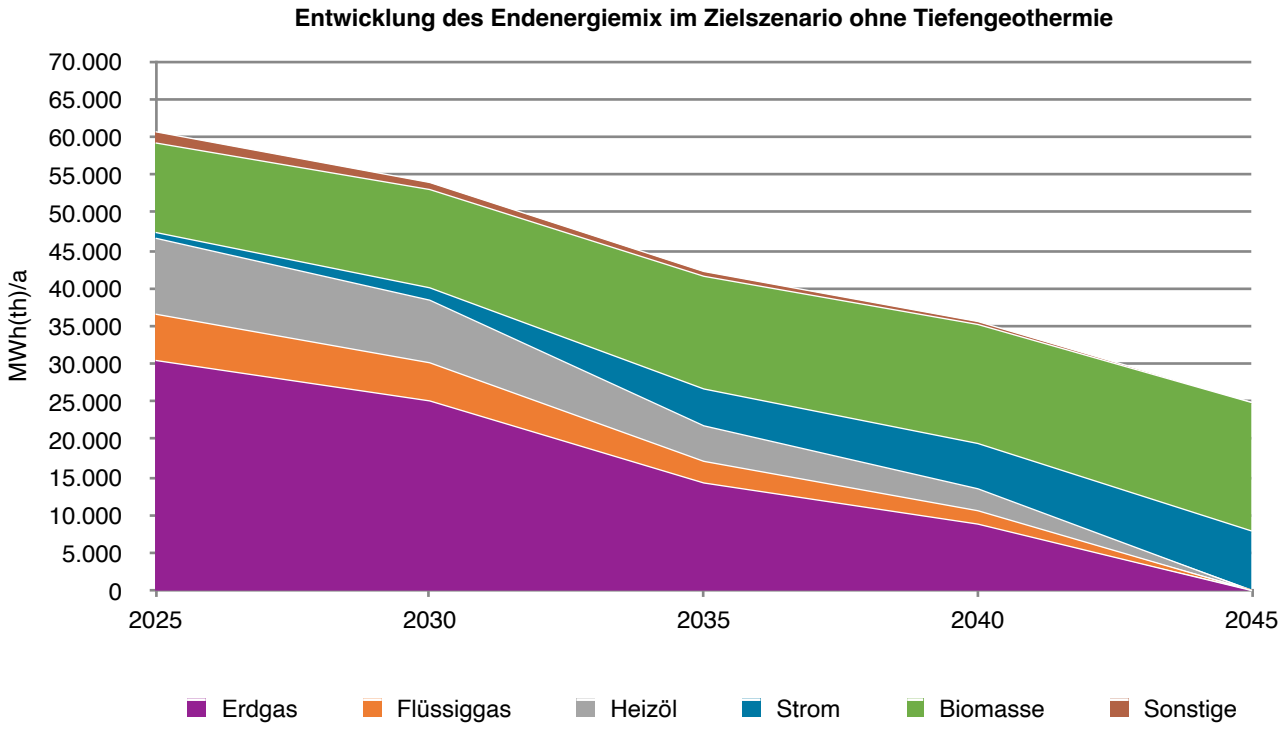


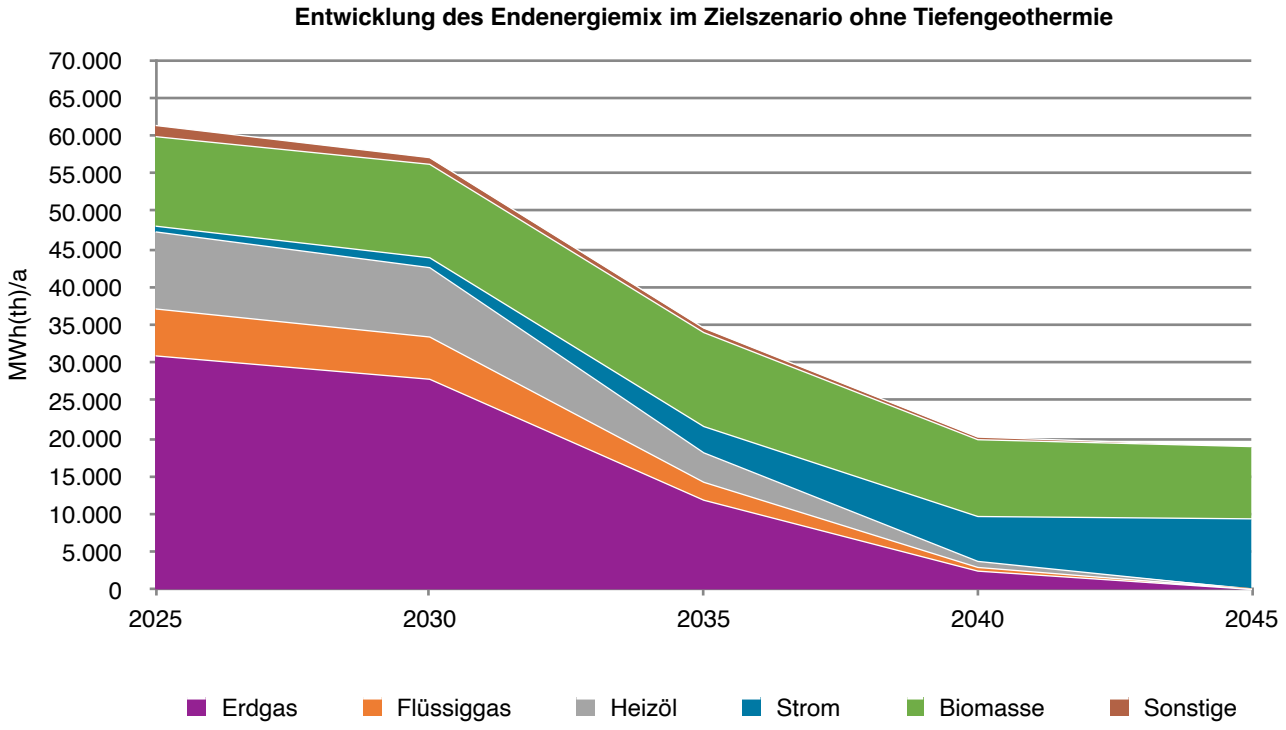
Entwicklung des Nutzwärmemix im Zielszenario mit Tiefengeothermie



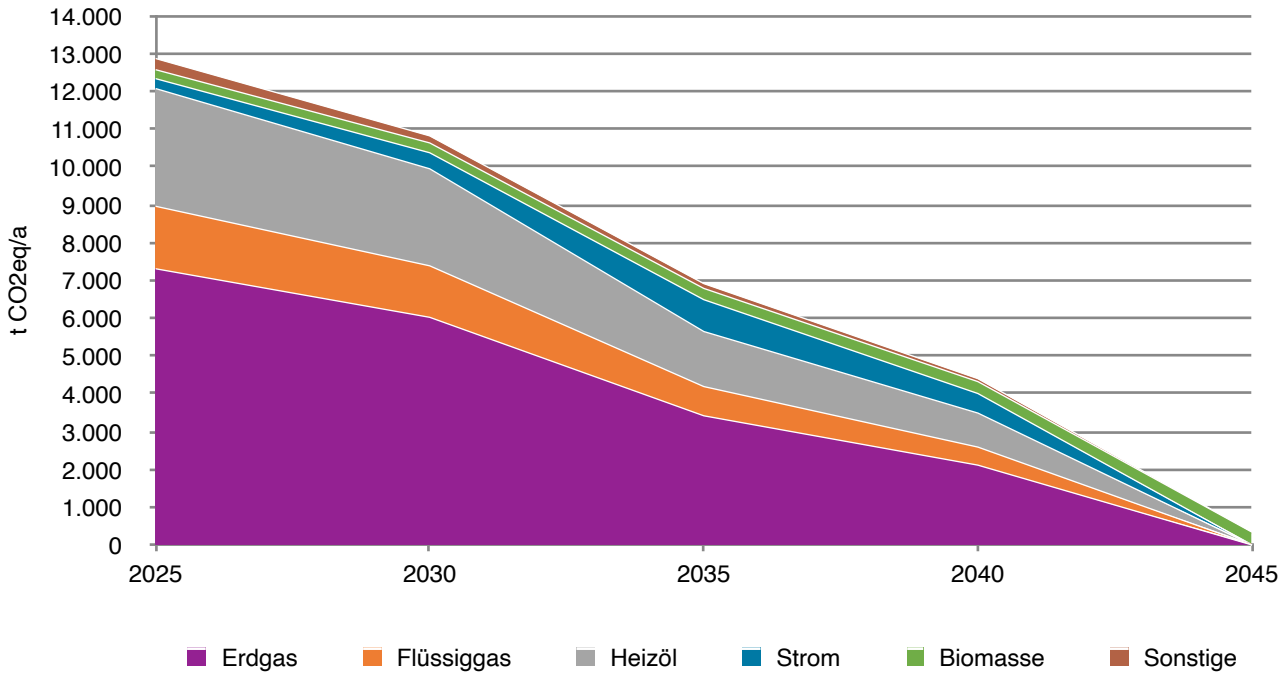

(De-)zentrale Wärmeversorgung im Zielszenario ohne Tiefengeothermie
MWh(th)/a
60.000
55.000
50.000
45.000
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
2025
2030
2035
2040
2045
Wärmenetzversorgung (ohne Quartierslösungen)
Dezentrale Versorgung


(De-)zentrale Wärmeversorgung im Zielszenario mit Tiefengeothermie
MWh(th)/a
60.000
55.000
50.000
45.000
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
2025
2030
2035
2040
2045
Wärmenetzversorgung (ohne Quartierslösungen)
Dezentrale Versorgung

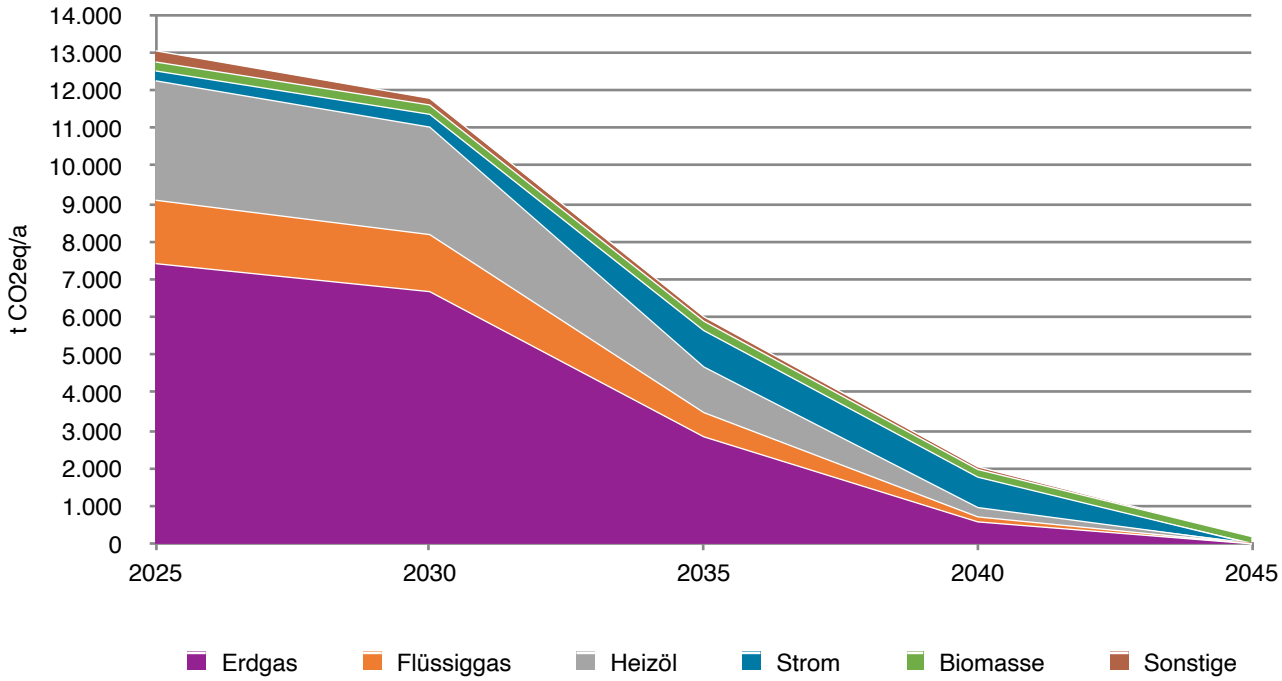

Entwicklung des Endenergiemix im Zielszenario ohne Tiefengeothermie
MWh(th)/a
70.000
65.000
60.000
55.000
50.000
45.000
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
2025
2030
2035
2040
2045
Erdgas
Flüssiggas
Heizöl
Strom
Biomasse
Sonstige


Entwicklung des Endenergiemix im Zielszenario ohne Tiefengeothermie
MWh(th)/a
70.000
65.000
60.000
55.000
50.000
45.000
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
2025
2030
2035
2040
2045
Erdgas
Flüssiggas
Heizöl
Strom
Biomasse
Sonstige

Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Zielszenario ohne Tiefengeothermie



Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Zielszenario mit Tiefengeothermie



Drei Anmerkungen zu den endenergetischen Szenarien:

- Gemäß einschlägiger Definitorik sind Abwärme und Umweltwärme keine endenergetische Kategorie. In beiden Szenarien sind Abwärme und Umweltwärme jedoch maßgebliche Quelle der künftigen Wärmeversorgung der Gemeinde.
- Fernwärme wird in Endenergiebilanzen häufig als eigene Kategorie ausgewiesen. Dies wäre jedoch vorliegend irreführend, insofern es ja darauf ankommt, mit welchen Endenergieträgern diese Fernwärme erzeugt wird. Fernwärme ist insofern nur eine andere Form der Energiebereitstellung.
- Die für sich genommen allerdings für Kommunalwärmepläne von grundlegender Bedeutung ist, weshalb die über Wärmenetze übertragene Wärmemenge in Abgrenzung zu den dezentral Erzeugten in separater Darstellung ausgewiesen wird.

8. Handlungsstrategie

Für jede Handlungsstrategie zur Gestaltung der sog. Wärmewende grundlegend ist die Erkenntnis, dass die Transformation zur nachhaltigen Wärmeversorgung nicht in einer lediglich mechanischen Substitution der Ressourcenbasis bestehen kann. In Bezug auf Landnutzung, Ernährung und Naturschutz konfliktarme erneuerbare Brennstoffe mit geringerer Treibhausgasintensität, die in den bestehenden Heizkesselanlagen die bisher eingesetzten flüssigen und gasförmigen Fossilbrennstoffe 1:1 ersetzen können, stehen auch auf absehbare Zeit nicht in ausreichender Menge zur Verfügung. Die herzustellende Wärmeversorgung hat vielmehr in dem Sinn nachhaltig zu sein, dass

- die eingesetzten Brennstoffe und sonstigen Endenergien mit hohen Nutzungsgraden eingesetzt werden (Effizienz) und eine Erhöhung der Anlageneffizienz nicht von sog. Rebound-Effekten aufgefressen wird,
- Ressourcen und Technologien zum Einsatz kommen, die Zielkonflikte mit der Landnutzung und dem Naturschutz meiden, sich in natürliche Stoffwechselprozesse einfügen und diesen insbesondere nicht entgegen stehen (Konsistenz) und
- das Ausmaß an absoluter Energieintensität reduziert, d.h. insbesondere dem Trend zunehmender Flächenintensität des Wohnens entgegengewirkt wird (Suffizienz).

Ökologie	Energieverbrauch reduzieren & Effizienz steigern	Effiziente Nutzung der eingesetzten Energieressourcen	Effizienz
	Nachhaltige Energie einsetzen & THG-Emissionen senken	Vermeidung von Rebound Effekten	
Wirtschaftlichkeit	Energiekosten stabilisieren bzw. senken	Einsatz von Energieressourcen, die sich in natürliche Stoffwechselprozesse einfügen	Konsistenz
	Energiewertschöpfung vor Ort realisieren	Lebenszyklusbetrachtung	
Soziales	Regionale Wertschöpfung fördern	Reduktion der absoluten Energieintensität	Suffizienz
	Bürgerbeteiligung realisieren	Verzicht auf energieintensive Strukturen und Konsummuster	

Die Mehrheitsfähigkeit in diesem Sinn nachhaltiger Wärmeversorgungslösungen hängt regelmäßig davon ab, dass sich ihre Vorzugswürdigkeit nicht nur von der Einsicht in die ökologische Notwendigkeit ableitet, sondern sie auch preiswert und wirtschaftlich resistent, d.h. von den Preisentwicklungen volatiler Brennstoffmärkte zumindest in wesentlich geringerem Ausmaß betroffen sind, und sie die lokale Wertschöpfung stärken und den Mittelabfluss aus der Gemeinde mindern. Die gegenwärtig jährlich im Gemeindegebiet Andechs' beschaffte Menge an fossilen Brennstoffen hat einen aktuellen Marktwert von rund 4,6 Millionen Euro (brutto). Dass sich nachhaltige, klimafreundliche technische Lösungen bereits heute grundsätzlich „rechnen" und in erheblich geringerem Maß von Brennstoffpreisentwicklungen abhängig sind, haben wir oben (vgl. Kapitel 7.1.2) gezeigt. Vor diesem Hintergrund das Folgende.

8.1. Maßnahmenkatalog

8.1.1. Erneuerbare Wärmenetze

8.1.1.1. Erling: Achse Molkerei / Dorfmitte / Kloster

Erling wird in energetischer Hinsicht eingefasst von zwei Großverbrauchern, dem Klosterareal mit Brauerei im Norden und dem (hinsichtlich der Verbräuche deutlich bedeutenderen) Molkereibetrieb im Süden. Beider Wärmeversorgung beruht maßgeblich auf dem Einsatz von Erdgas, beiden zusammen repräsentieren rund 40 Prozent des Gesamtwärmeverbrauchs der Gemeinde. Zieht man zwischen beiden eine öffentlichen Wegen folgende Trasse, führt diese durch das Dorfzentrum von Erling mit vergleichsweise dichter Bebauung und schneidet auch die bestehende kommunale Nahwärmeinsel um Rathaus und Schulareal.

Beim Molkereibetrieb besteht ein erhebliches Abwärmepotenzial im gewerblichen Klärwasser[65]. Ob auch im Klosterareal ein bislang ungenutztes Abwärmepotenzial besteht, konnte nicht ermittelt werden, grundsätzlich ist es bei Brauereien häufig der Fall. An beiden Enden gibt es zudem grundsätzlich ein Flächenpotenzial für mögliche Hochbauten, die in ein Wärmenetz einspeisende Wärmeerzeugungsanlagen aufnehmen können; beide Standorte sind mit hohen Leistungen an die öffentlichen Netze für Strom und Erdgas angeschlossen (die Molkerei in deutlich höherem Maße); an beiden Standorten findet betrieblich veranlasster Schwerlastverkehr statt, sie eignen sich insofern auch für Wärmetechnologien wie z.B. Holzhackschnitzel, die eine entsprechende Brennstoff-Logistik erfordern; beide Standorte sind bereits heute be-

[65] (Vor-)geklärtes betriebliches Abwasser vor Einleitung in die öffentliche Kanalisation.

triebsbedingt vergleichsweise stark immissionbelastet (Lärm, Abgas, Abwasser etc.), die Hinzunahme einer Heizzentrale würde diese Belastung allenfalls graduell erhöhen.

Ob vor diesem Hintergrund über eine Einbindung des Klosterareals als Flächen- und Abwärmegeber in ein Kommunalwärmenetz nachgedacht werden kann, dazu war im Zuge dieser Planerstellung mit der Klosterverwaltung leider keine Abstimmung möglich. Von Seiten der Molkerei allerdings wurde im Zuge mehrerer Gespräche und schriftlicher Korrespondenzen grundsätzliche Bereitschaft nicht nur signalisiert, sondern nachdrücklich bestätigt, sowohl betriebliche Flächen, als auch das Abwärmepotenzial (bzw. Teile davon) für den Betrieb eines Kommunalwärmenetzes möglicherweise zur Verfügung stellen zu können. Wir empfehlen der Gemeinde, auf dieser Aufgeschlossenheit konkret aufzubauen. Die Achse Molkerei / Kloster mit dem dazwischenliegenden Dorfzentrum Erlings eignet sich aufgrund der Wärmedichte gut für eine netzgebundene Wärmeerschließung. Und für ein wesentliches Knappheitsmoment von Wärmenetzen, der Hochbaufläche für die Wärmeinspeisung, gibt es hier möglicherweise eine konkrete Lösung.

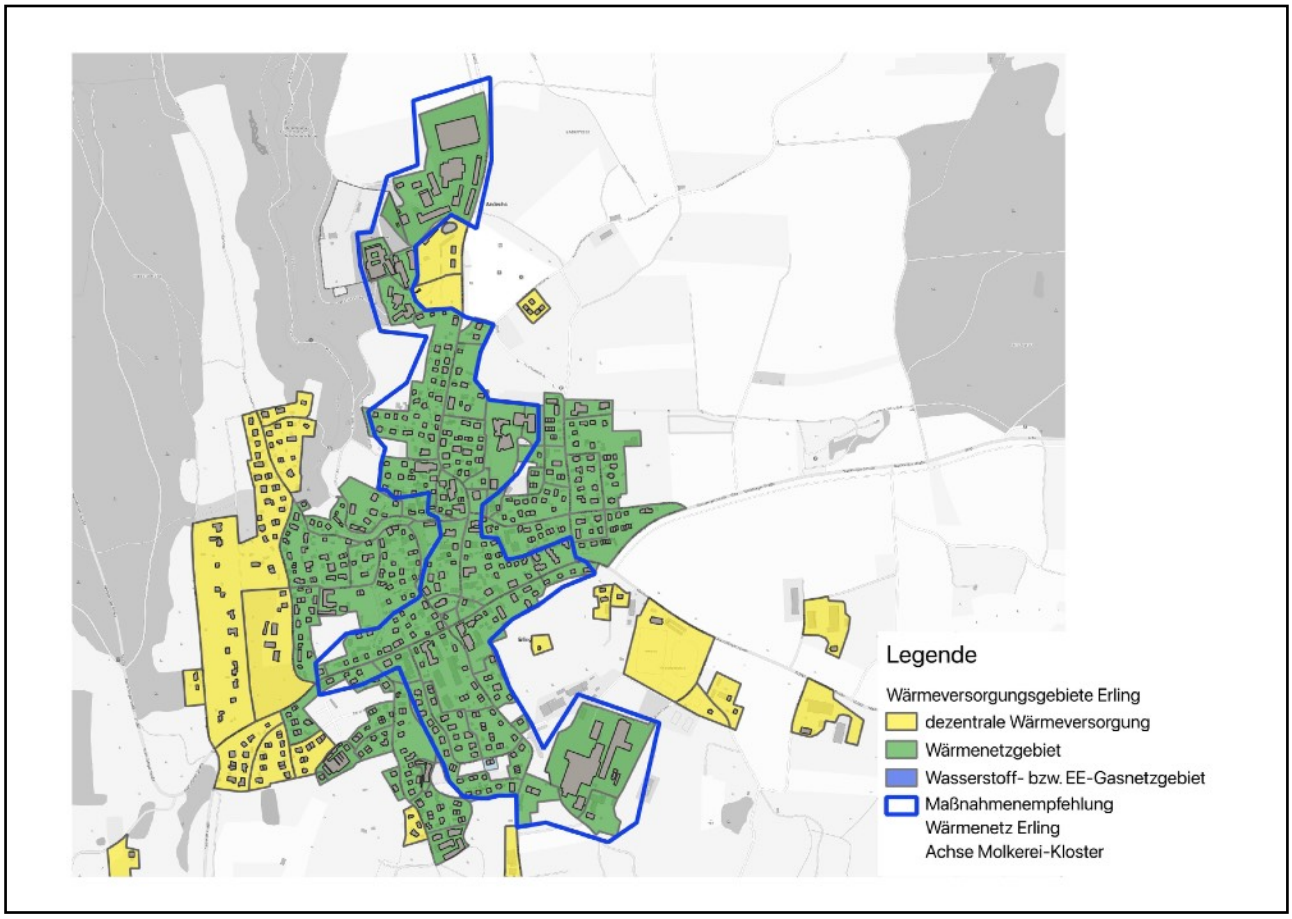
Auf dem Gelände der Molkerei könnte eine multivalente Heizzentrale entstehen, mit einer die Abwärme des Klärwassers (und möglicherweise weiterer Prozesse) nutzenden Sole-Wasser-Großwärmepumpe und einer großen Hackschnitzel-Kesselanlage als zentralen Wärmeerzeugern. Das aktuell stromgeführte BHKW könnte wärmegeführt einspeisen, ebenso spitzenlastdeckende Gaskessel, die zudem eine Redundanzfunktion einnehmen. Alternativ wäre mit leistungsstarkem Stromnetzanschluss auch eine Spitzenlastabdeckung auch mit Elektro- bzw. Elektrodenheizkesseln möglich, die insbesondere zu den immer stärker zunehmenden Zeiten mit Stromüberhang und niedrigen bzw. negativen Börsenpreisen für elektrischen Strom sinnvoll und kostengünstig integriert werden könnten. Gleiches gilt als Steuerungsprinzip freilich auch für die Wärmepumpe. Von zentraler Wichtigkeit ist insofern die Integration eines groß dimensionierten Heizwasserspeichers, um die Laufzeiten der elektrischen Wärmeerzeuger soweit sinnvoll darstellbar von den Bedarfszeiten der Wärmeabnehmer zu entkoppeln. Für die Wärmegestehungskosten und die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes nicht unwesentlich kann es insofern auch sein, die maximale Netzbezugsleistung von Strom aus den sog. Hochlastzeitfenstern des Verteilnetzes herauszuschieben und insofern von den Netzentgeltprivilegien sog. atypischer Netznutzung[66] Gebrauch zu machen.

Das Wärmenetz kann so aufgebaut werden, dass auch an anderer Stelle Wärme eingespeist wird. Ein zusätzlicher Wärmeeinspeiser könnte z.B. eine Sole-Wasser-Wärmepumpe im Klosterareal sein, die – sofern vorhanden – Abwärmepotenziale der Brauerei nutzbar macht. Oder eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, die das Abwärmepotenzial im Erlinger Abwasserhauptsammler nutzt. Dieses bliebe auch noch bedeutend, wenn die Temperatur des von der Molkerei eingeleiteten Wassers durch eine Wärmepumpe im Molkereiareal wie oben beschrieben abgesenkt, das Temperaturniveau im Hauptsammler entsprechend gemindert würde. Über ein so gespeistes Wärmenetz könnten unter der Maßgabe, dass der Holzhackschnitzelanteil mit einer nicht der immissionschutzrechtlichen Genehmigungspflicht[67] unterliegenden Kesselanlage auf rund ein Drittel beschränkt wird, jährlich in etwa 12 GWh_{th} Wärmeverbrauch gedeckt werden, was exklusive des herausragenden Großverbrauchers „Molkerei“ in etwa der Hälfte des gegenwärtigen Gesamtwärmebedarfs Erlings entspricht. Das in nachfolgend dargestellter Karte dargestellte Gebiet könnte damit versorgt werden, wobei eine Anschlussquote von 65 Prozent und zudem unterstellt wird, dass ein Drittel des Wärmebedarfs des Molkerei- und des Klosterbetriebs aus dem Wärmenetz gedeckt werden.[68] Das bestehende kommunale Quartierwärmenetz um Rathaus und Grundschule integriert sich hierin. Die benötigte Gesamtheizleistung beträgt ca. 6,5 MW_{th}.

[66] Nach §19 Stromnetzentgeltverordnung.

[67] Nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz.

[68] Die Grenzziehung folgt praktischen Überlegungen grundlegender Netztopologie und Wärmebelegungsdichte, ist aber dem Prinzip nach fakultativ und kann und sollte sinnigerweise – möglicherweise in weiteren Bauabschnitten – erweitert werden.



Ausdehnung des empfohlenen Wärmenetzes Erling, Achse Molkerei / Dorfmitte / Kloster.

Bei einer Ausweitung des Holzanteils wären freilich auch wesentlich größere Jahreswärmemengen möglich. Ebenso bei Hinzunahme großskaliger Luft-Wasser-Wärmepumpen, die für eine Bereitstellung der vergleichsweise hohen Temperaturbedarfe des auf den Gebäudebestand ausgelegten Wärmenetzes im Sinne etwas verbesserter elektrischer Effizienz mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen kaskadiert werden könnten, die auf von den Luft-Wasser-Wärmepumpen beschickte, niedertemperierte Heizwasserpufferspeicher zurückgreifen. Letzteres System weist bei gegenwärtigen Preisen allerdings vergleichsweise hohe Wärmegestehungskosten auf.

Der insofern „größte Wurf“ wäre der Anschluss eines Erlinger Wärmenetzes entlang der Achse Molkerei / Dorfmitte / Kloster an das geplante Tiefengeothermieprojekt in Herrsching. Der Gesamtwärmebedarf Erlings beträgt ca. 15 Prozent der jährlichen Wärmearbeit, die die vorgesehenen Dubletten nach gegenwärtigem Planstand erschließen sollen. Insbesondere wenn die Molkerei mit ihrem mit Heizwasser zu deckendem Vollbedarf[69] partizipiert, wäre der lange Trassenweg trotz hoher Herstellungskosten und vergleichsweise hoher Verluste kein Ausschlusskriterium. Ein einfacher Rechenweg zeigt das: Wenn wir davon ausgehen, dass die Wärme innerhalb Herrschings zu einem Arbeitspreis vergleichbarer Wärmenetze (ca. 50 €/MWh$_{th}$) geliefert werden würde, jährlich 30 GWh$_{th}$ aus Herrschinger Produktion über eine 6.200 Meter lange Trasse nach Erling transportiert werden würde, diese Leitung (unter Verrechnung einschlägiger Fördermittel) zu einem Preis von 1.000 Euro pro Trassenmeter hergestellt würde und die Leitung eine technische Lebensdauer von 40 Jahren aufweist, so ließe sich die Wärme unter Ansatz typischen Pumpstrombedarfs, typischer Leitungsverluste und eines Kalkulationszinssatzes von drei Prozent für einen kalkulatorischen Mehrpreis von rund 18 €/MWh$_{th}$ nach Erling liefern. Das sind lediglich acht Prozent des aktuellen Vollwärmegestehungspreises des unsanierten Andechser Durchschnittshauses (vgl. Kapitel 7.1.2).

Vor dem Hintergrund lautet die Handlungsempfehlung:

[69] Menge abhängig von den Erfolgen der Umstellung von Dampf auf Heißwasser.

- Weiterführung der vorliegenden Vorarbeiten in Form einer sog. Machbarkeitsstudie (Konzepterstellung) nach BEW-Modul 1 (siehe hierzu ausführlich Kapitel 9.6) durch die Gemeinde. Ausschreibung entsprechender Leistungen und Fördermittelmanagement durch die Gemeinde.
  - Dieses Konzept soll für das dargestellte Gebiet erstellt werden und auf den vorliegenden Ergebnissen sowie den der Wärmeplanung zugrundeliegenden Daten aufbauen. Wesentliche Teile der nach BEW-Modul 1 geforderten Inhalte liegen bereits vor.
- Auf Grundlage der Ergebnisse des nach BEW-M1-Studie detaillierten Konzepts:
  - Abschluss von Kooperationsvereinbarungen zwischen der Gemeinde und den sich aus dem Konzept ergebenden Schlüsselakteuren (je nach Konkretisierung: Tiefengeothermie-Wärmelieferant, Molkereibetrieb, Abwassernetzbetreiber, Kloster etc.)
  - Konzessionsvergabe für die Errichtung und Betrieb eines Wärmenetzes mit den entsprechenden Inhalten, gefördert durch BEW-Modul 2 (siehe hierzu ausführlich Kapitel 9.6)

Das Wärmenetz sollte von einem professionellen Dienstleister betrieben werden. Das kann ein überregional tätiger Contractor, ein regionales Stadt- oder Gemeindewerk, eine regional tätige Energiegenossenschaft, eine eigens hierfür aus der Mitte der Bürgerschaft gegründete Energiegenossenschaft oder ein aus einzelnen dieser Akteure zusammengesetztes Gemeinschaftsunternehmen sein. Prinzipiell akzeptanzsteigernd sind genossenschaftliche Lösungen, insofern sie den Wärmeabnehmer auch zum Wärmelieferanten machen – den Consumer zum Prosumer – und die lokale Wertschöpfung stärken. Auch die Gemeinde kann insofern im Rahmen des kommunalrechtlich Zulässigen Genossin sein. Bei nicht bereits etablierten Trägern ist es entscheiden, dass diese sich fachkundiger Unterstützer (Projektentwickler, Planer, Servicedienstleister, Abrechnungsdienstleister) bedienen; ein „Gründen aus Komponenten“ ist hier möglich. Von überragender Bedeutung ist hier gleichwohl das häufig zumindest vorläufig ehrenamtliche Engagement Einzelner.

Methodisch sollte ein Wärmenetz stets vom Wärmeabsatz her entwickelt werden. Konkret: Das zu erstellende Konzept muss eine so belastbare, reliable, auf realistischen Mengenannahmen, Anlagenbetriebssimulationen, Investitions- und Betriebskostenschätzungen beruhende Projektkalkulation in einer dem Projektfortschritt angemessenen Detailtiefe zum Ergebnis haben, dass der Projektentwickler auf dieser Grundlage verbindliche Wärmeliefervorverträge mit künftigen Wärmeabnehmern schließen kann. Diese Wärmeliefervorverträge benennen einen Preisrahmen, innerhalb dessen der Wärmenetzbetreiber die Wärme zu liefern beabsichtigt, und einen Zeithorizont, in dem die Lieferung aufgenommen werden soll. Insofern sie den Vertragspartner bei Erfüllung dieser Vorgaben zum Abschluss eines entsprechenden Hauptvertrags und damit zur tatsächlichen Abnahme der Wärme zu den vorvertraglich vereinbarten Konditionen verpflichten (Kontrahierungszwang), bietet eine ausreichende Menge vorvertraglich vereinbarter Wärmeabnahme jene Sicherheit, die für eine entsprechende Investitionsentscheidung erforderlich ist und von den finanzierenden Banken regelmäßig gefordert wird. Man kann damit Pflöcke in den Boden schlagen, an welchen man das Projekt sozusagen festbinden kann. Entscheidend in dieser Projektphase ist nicht das technische Detail, sondern die möglichst verlässliche Übersetzung technischer Lösungskonzepte in ein tragfähiges Cash-Flow-Modell, das auf Endkundenpreisen beruht, die im Wettbewerb mit alternativen Lösungen wirtschaftlich als attraktiv bewertet werden.

8.1.1.2. Frieding: Vom nördlichen Gewerbegebiet ins Ortszentrum

Gleicher Logik folgend, empfehlen wir eine erhebliche Erweiterung bzw. Ausdehnung des bestehenden „Nachbarwärmeverbunds“ im nordöstlichen Gewerbeareal Friedings in die Ortsmitte hinein gemäß u.s. kartographischer Darstellung.[70] Hier leitet sich die Empfehlung von der Rohstoffbasis ab, insofern der Bestand von einem holzverarbeitenden Gewerbe betrieben wird, bei dem ein großer Überschuss an Holzhackschnitzeln anfällt, die Stand heute zur energetischen Verwertung überwiegend nach Österreich verkauft werden. Stoffe, die vor Ort ebenso eingesetzt werden können, damit die lokale Wertschöpfung fördern, Mittelabfluss (für Fossilenergien) mindern und die Treibhausgasbilanz verbessern, die vom Transportaufwand maßgeblich beeinflusst wird. Fläche für erweiterte Heizzentralen ist am nordöstlichen Ortsrand grundsätzlich vorhanden und die erforderliche Brennstofflogistik gut darstellbar. Der Gesamtwärmebedarf des dargestellten Netzgebiets beträgt rund 3,2 GWh_{th}/a; bei einer angenommenen Anschlussquote von 65 Prozent könnten demnach etwa 2,1 GWh_{th}/a aus dem Wärmenetz versorgt werden. Die benötigte Heizleistung beträgt etwa 1,2 MW_{th}. Dabei sollte von Beginn an eine weitere Ausdehnung des Wärmenetzes „nach allen Seiten“ planerisch – möglicherweise in weiteren Bauabschnitten – berücksichtigt werden, insbesondere bei Flächen- bzw. Hochbauerschließung der Heizzentrale und der Auslegung der Hauptwärmetrassen.

[70] Die Grenzziehung folgt praktischen Überlegungen grundlegender Netztopologie und Wärmebelegungsdichte, ist aber dem Prinzip nach fakultativ und kann und sollte sinnigerweise nach Süden, Osten und Westen – möglicherweise in weiteren Bauabschnitten – erweitert werden.



Ausdehnung des empfohlenen Wärmenetzes Frieding, vom nördlichen Gewerbegebiet ins Ortszentrum.

Auch hier wesentlich, dass das Projekt professionell entwickelt wird. Auch hier können sich lokale Akteure zusammenfinden und die Dinge treiben, solange sie von fachkundigen Dienstleistern entlang der Wertschöpfungskette unterstützt werden und diese Unterstützung auch zulassen. Auch hier sollte die BEW-Förderung (vgl. Kapitel 9.6) in Anspruch genommen werden. Auch hier ist die aktivierende, koordinierende, zusammenführende Rolle der Gemeinde wesentlich.

Technisch kann neben der herkömmlichen Kesseltechnik eine Pyrolyse-Anlage eine sinnvolle Alternative sein. Das Verfahren beruht auf der thermochemischen Umwandlung holziger Biomasse unter weitgehendem Sauerstoffabschluss, wobei – wie hier vorliegend – insbesondere Waldrestholz in Form von Holzhackschnitzeln als geeigneter Einsatzstoff in Betracht kommt. Bei Temperaturen im Bereich von etwa 450 bis 700 °C zerfällt die Biomasse in ein brennbares Gasgemisch, eine feste Kohlenstofffraktion sowie kondensierbare organische Bestandteile. Während das entstehende Pyrolysegas unmittelbar im Prozess genutzt und zur Einspeisung in ein Wärmenetz aufbereitet werden kann, bildet die feste Kohlenstofffraktion in Form von Pflanzenkohle den wesentlichen strukturellen Unterschied zu klassischen Verbrennungsanlagen.

Der Brennstoffeinsatz einer Anlage mit einer thermischen Leistung von knapp 1 MW liegt typischerweise bei 0,5 bis 0,7 Tonnen trockener Holzhackschnitzel pro Stunde. Aus diesem Stoffstrom werden erfahrungsgemäß etwa 20 bis 30 Prozent der Trockenmasse in stabile Pflanzenkohle überführt, während der verbleibende Anteil energetisch verwertet wird. Dadurch entsteht ein gekoppeltes System aus Wärmebereitstellung und dauerhafter Kohlenstoffbindung, bei dem ein Teil des biogenen Kohlenstoffs langfristig aus dem natürlichen Kreislauf entzogen und stofflich fixiert wird. D.h. diese Heizungen arbeiten nicht nur CO_2-arm, sondern sind eine der wenigen konkret verfügbaren Lösungen, große Mengen CO_2 aus der Atmosphäre zu ziehen und langfristig im Boden einzulagern.

Für die kommunale Wärmeversorgung ergibt sich daraus eine erweiterte Wertschöpfungslogik, die über die reine Energiebereitstellung hinausgeht. Neben den Erlösen aus der Wärmeeinspeisung können zusätzliche Einnahmen aus der Vermarktung der Pflanzenkohle generiert werden, insbesondere wenn diese nach anerkannten Qualitätsstandards zerti-

fiziert ist und in landwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Anwendungen eingesetzt wird. Ergänzend können unter geeigneten regulatorischen Rahmenbedingungen auch Erlöse aus der monetarisierten Kohlenstoffbindung erzielt werden, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit der Wärmebereitstellung deutlich differenzierter darstellt als bei konventionellen Biomassekesseln.

Demgegenüber steht eine im Vergleich zu etablierten Feuerungstechnologien geringere Marktreife. Zwar ist die Pyrolysetechnologie in industriellen Anwendungen grundsätzlich etabliert, jedoch liegen im Kontext kommunaler Wärmenetze bislang nur begrenzte Betriebserfahrungen mit standardisierten Anlagenkonzepten vor. Die Umsetzung erfolgt häufig als projektspezifische Ingenieurlösung, was einen erhöhten Planungs- und Integrationsaufwand mit sich bringt. Technisch anspruchsvoll ist insbesondere die stabile Prozessführung bei variierender Brennstoffqualität, da Feuchtegehalt und Partikelstruktur des Hackguts unmittelbar auf Gasbildung, Teeranteile und Kohleausbeute wirken. Gleichzeitig hängt die Wirtschaftlichkeit stärker als bei reinen Verbrennungsanlagen von der verlässlichen Vermarktung der Pflanzenkohle ab, wodurch zusätzliche Anforderungen an Logistik, Zertifizierung und Absatzstrukturen entstehen.

Die Investitionskosten bewegen sich derzeit für eine vollständig integrierte ca. 1 MW_{th}-Anlage einschließlich Brennstoffaufbereitung, Reaktorsystem, Gasnutzung und Kohlehandling typischerweise im Bereich von etwa 2,5 bis 4,0 Millionen Euro. Damit liegt das Kostenniveau erheblich über dem konventioneller Hackschnitzelkesselanlagen, was im Wesentlichen auf die höhere technische Komplexität und die noch begrenzte industrielle Skalierung zurückzuführen ist. Auch die Betriebskostenstruktur ist entsprechend breiter gefächert, da neben dem klassischen Anlagenbetrieb zusätzliche Aufwendungen für Produktaufbereitung, Qualitätsmanagement und Vermarktung der Kohle anfallen. Im Marktumfeld ist eine zunehmende, jedoch weiterhin begrenzte Zahl spezialisierter Anbieter (insbesondere Fa. PYREG) aktiv.

8.1.2. Dezentrale Umstellung auf erneuerbare Wärmeversorgungslösungen

8.1.2.1. Tage der offenen Heizungstüre

Die Akzeptanz neuer Heiz- und Wärmetechnologien stellt einen wichtigen Erfolgsfaktor für die kommunale Wärmewende dar. Viele Gebäudeeigentümer stehen vor der Herausforderung, Investitionsentscheidungen für neue Heizsysteme zu treffen, verfügen jedoch häufig nur über begrenzte praktische Erfahrungen mit Technologien wie Wärmepumpen, Solarthermieanlagen, Pelletheizungen oder Nahwärmeanschlüssen. Unsicherheiten hinsichtlich Kosten, Komfort, Betriebssicherheit und technischer Eignung können dabei zu Verzögerungen bei Modernisierungsentscheidungen führen.

Zur Reduzierung dieser Entscheidungshürden wird die Durchführung eines regelmäßigen „Tags der offenen Heizungstür“ empfohlen. Im Rahmen dieser Veranstaltung öffnen Bürger, Unternehmen oder öffentliche Einrichtungen ihre Gebäude und ermöglichen interessierten Besuchern einen Einblick in bereits realisierte Heizungs- und Wärmelösungen. Vor Ort können Erfahrungen aus erster Hand ausgetauscht, technische Anlagen besichtigt und konkrete Fragen zu Planung, Installation, Betrieb und Wirtschaftlichkeit beantwortet werden.

Der direkte Austausch mit Anwendern schafft Vertrauen und vermittelt praxisnahe Informationen, die durch klassische Informationsveranstaltungen oftmals nur eingeschränkt vermittelt werden können. Gleichzeitig können verbreitete Vorbehalte gegenüber neuen Technologien, beispielsweise hinsichtlich Geräuschentwicklung, Platzbedarf, Effizienz oder Betriebskosten, durch reale Anwendungsbeispiele entkräftet werden. Die Sichtbarkeit erfolgreicher Projekte innerhalb der Kommune stärkt zudem die Identifikation der Bevölkerung mit der lokalen Wärmewende.

Aus kommunaler Sicht bietet der Tag der offenen Heizungstür eine vergleichsweise kostengünstige und wirksame Möglichkeit, die Informations- und Beratungsangebote zur Wärmeplanung zu ergänzen. Die Maßnahme kann in Zusammenarbeit mit lokalen Handwerksbetrieben, Energieberatungen, Wohnungsunternehmen und engagierten Bürgerinnen und Bürgern umgesetzt werden. Dadurch werden die Akzeptanz und die Bereitschaft zur Umsetzung klimafreundlicher Wärmeversorgungslösungen erhöht und ein wichtiger Beitrag zur Erreichung der kommunalen Klimaschutz- und Transformationsziele geleistet.

8.1.2.2. Einrichtung von Beratungs- und Informationsangeboten für Bürger

Die erfolgreiche Umsetzung der kommunalen Wärmewende erfordert neben technischen und infrastrukturellen Maßnahmen auch eine umfassende Information und Einbindung der Bevölkerung. Viele Hauseigentümer, Vermieter und Mieter stehen vor komplexen Fragestellungen hinsichtlich zukünftiger Heiztechnologien, energetischer Sanierungen, gesetzlicher Anforderungen sowie möglicher Förderprogramme. Fehlende Informationen und Unsicherheiten können dazu führen, dass notwendige Investitionsentscheidungen aufgeschoben oder nicht getroffen werden.

Vor diesem Hintergrund wird die Einrichtung beziehungsweise der Ausbau kommunaler Beratungs- und Informationsangebote empfohlen. Ziel der Maßnahme ist es, Bürgern einen niedrigschwelligen Zugang zu verständlichen, unabhängi-

gen und praxisnahen Informationen rund um die Wärmeversorgung und Energieeffizienz zu ermöglichen. Dies kann beispielsweise durch regelmäßige Informationsveranstaltungen, Beratertage, digitale Informationsplattformen, thematische Vortragsreihen oder die Zusammenarbeit mit Energieagenturen und qualifizierten Energieberatern erfolgen. Viele Gemeinden haben erfolgreich Facharbeitsgruppen gegründet, die aus Vertretern der Kommune, Energieberatern, lokalen Heizungsbauern und weiteren Fachleuten bestehen. Ein besonderer Mehrwert besteht darin, dass individuelle Fragen zur Eignung verschiedener Heizsysteme, zu Sanierungsmöglichkeiten oder zu verfügbaren Fördermitteln direkt beantwortet werden können. Gleichzeitig können Fehlinformationen und Vorbehalte gegenüber neuen Technologien abgebaut sowie die Vorteile energieeffizienter und klimafreundlicher Lösungen verständlich vermittelt werden. Durch eine frühzeitige und transparente Kommunikation werden Planungssicherheit geschaffen und die Akzeptanz der kommunalen Wärmeplanung gestärkt.

Die Maßnahme unterstützt darüber hinaus die Aktivierung privater Investitionen, die für das Gelingen der Wärmewende von zentraler Bedeutung sind. Insbesondere Eigentümer von Bestandsgebäuden erhalten eine Orientierungshilfe für anstehende Modernisierungsentscheidungen und können ihre Investitionen besser auf die langfristigen Ziele der kommunalen Wärmeversorgung abstimmen.

Aus Sicht der kommunalen Wärmeplanung stellen Beratungs- und Informationsangebote daher einen wichtigen Baustein zur Begleitung des Transformationsprozesses dar. Sie fördern die Akzeptanz, erhöhen die Handlungsbereitschaft der Bevölkerung und tragen dazu bei, die Umsetzung klimafreundlicher Wärmeversorgungslösungen in der Kommune zu beschleunigen.

8.1.2.3. Aufbau kommunaler Förderprogramme

Der Aufbau kommunaler Förderprogramme kann einen wichtigen Beitrag zur Beschleunigung der Wärmewende auf lokaler Ebene leisten. Trotz bestehender Förderangebote von Bund und Ländern stellen die Investitionskosten für den Austausch von Heizungsanlagen, die energetische Sanierung von Gebäuden oder die Nutzung erneuerbarer Wärmequellen für viele Eigentümer weiterhin eine erhebliche Hürde dar. Kommunale Förderprogramme können diese Hürde reduzieren und gezielt Anreize für Maßnahmen schaffen, die den Zielen der kommunalen Wärmeplanung entsprechen.

Ziel der Maßnahme ist es, Investitionen in energieeffiziente und klimafreundliche Wärmeversorgungslösungen zu unterstützen und dadurch die Umsetzungsgeschwindigkeit der Wärmewende zu erhöhen. Förderfähig können beispielsweise der Einbau von Wärmepumpen, der Anschluss an Wärmenetze, die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs, die Heizungsoptimierung, die Installation von Solarthermieanlagen oder die Erstellung individueller Sanierungsfahrpläne sein. Ebenso können Zuschüsse für Energieberatungen oder Machbarkeitsstudien bereitgestellt werden, um fundierte Investitionsentscheidungen zu erleichtern.

Kommunale Förderprogramme bieten den Vorteil, dass sie gezielt auf die örtlichen Rahmenbedingungen und die strategischen Ziele der Wärmeplanung ausgerichtet werden können. Dadurch lassen sich Maßnahmen fördern, die für die Kommune eine besonders hohe Bedeutung besitzen, beispielsweise die Erschließung von Wärmenetzgebieten, die Nutzung lokaler erneuerbarer Energiequellen oder die Reduzierung von Treibhausgasemissionen in bestimmten Quartieren. Gleichzeitig können kommunale Zuschüsse bestehende Förderprogramme von Bund und Ländern sinnvoll ergänzen und deren Wirkung verstärken.

Neben den direkten Investitionsanreizen haben kommunale Förderprogramme auch eine wichtige Signalwirkung. Sie verdeutlichen das Engagement der Kommune für den Klimaschutz und schaffen Vertrauen bei Bürgern, Unternehmen und weiteren Akteuren. In Verbindung mit Beratungs- und Informationsangeboten können sie dazu beitragen, Investitionsentscheidungen zu beschleunigen und die Akzeptanz der Wärmewende zu erhöhen.

Aus Sicht der kommunalen Wärmeplanung stellt der Aufbau kommunaler Förderprogramme daher ein wirksames Instrument dar, um die Umsetzung zentraler Maßnahmen zu unterstützen, private Investitionen zu mobilisieren und die Erreichung der kommunalen Klimaschutz- und Transformationsziele nachhaltig zu fördern.

8.1.3. Sanierung, Professionalisierung, Effizienzsteigerung

8.1.3.1. Optimierung der Heizungsregelung

Schnelle Effizienzgewinnne verspricht eine Optimierung der Heizungsregelungen. Diese sind allzu häufig auf Werkeinstellung und somit nicht auf den jeweiligen Nutzer und das jeweilige Gebäude angepasst. Dabei können Energieverbrauch und Kosten deutlich gesenkt werden, wenn Heizkurve, Heizzeiten und Raumsolltemperatur individuell an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Die Optimierung der Heizungsregelung zählt zu den wirtschaftlichsten und kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen zur Reduzierung des Wärmeverbrauchs in Gebäuden. In vielen Bestandsgebäuden sind Heizungsanlagen zwar technisch funk-

tionsfähig, die Regelungsparameter jedoch nicht optimal auf das Gebäude, die Nutzungszeiten oder den tatsächlichen Wärmebedarf abgestimmt. Dies führt häufig zu unnötig hohen Vorlauftemperaturen, übermäßigen Laufzeiten der Heizungsanlage und damit zu einem erhöhten Energieverbrauch.

Im Rahmen der Heizungsoptimierung werden die Regelungseinstellungen systematisch überprüft und angepasst. Dazu gehören insbesondere die Optimierung der Heizkurve, die Anpassung von Nachtabsenkungs- und Zeitprogrammen sowie die bedarfsgerechte Steuerung von Warmwasserbereitung und Umwälzpumpen. Ziel ist es, die Wärmeversorgung jederzeit sicherzustellen, gleichzeitig jedoch unnötige Energieverluste zu vermeiden. Moderne Regelungstechnik kann darüber hinaus witterungsabhängig oder nutzungsabhängig arbeiten und so den Energieeinsatz weiter reduzieren.

Die Maßnahme ist in der Regel mit geringen Investitionskosten verbunden und kann oftmals ohne größere bauliche Eingriffe umgesetzt werden. Je nach Ausgangssituation lassen sich durch eine optimierte Heizungsregelung Heizenergieeinsparungen von etwa 5 bis 10 Prozent erzielen. Gleichzeitig verbessert sich der thermische Komfort in den Gebäuden, da Überheizungen und starke Temperaturschwankungen vermieden werden. Darüber hinaus werden die Betriebsbedingungen für effiziente Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen oder Brennwertanlagen verbessert.

Aus Sicht der kommunalen Wärmeplanung sollte die Optimierung der Heizungsregelung insbesondere bei Bestandsgebäuden als niedrigschwellige Effizienzmaßnahme aktiv empfohlen werden. Sie eignet sich sowohl als eigenständige Maßnahme als auch als ergänzender Baustein im Zusammenhang mit einem hydraulischen Abgleich, einer Heizungsmodernisierung oder einer energetischen Sanierung. Durch die schnelle Umsetzbarkeit und die unmittelbaren Energieeinsparungen leistet sie einen wichtigen Beitrag zur Senkung des Wärmebedarfs und zur Erreichung der kommunalen Klimaschutzziele.

8.1.3.2. Optimierung der Hydraulik

Eine wichtige Effizienzmaßnahme zur Optimierung von Heizungsanlagen ist der sog. hydraulische Abgleich. Sein Ziel ist es, die Wärmeverteilung innerhalb eines Gebäudes so einzustellen, dass alle Heizflächen entsprechend ihres tatsächlichen Wärmebedarfs mit Heizwasser versorgt werden. Ohne einen hydraulischen Abgleich kommt es häufig zu einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung: Heizkörper in der Nähe des Wärmeerzeugers werden überversorgt, während weiter entfernte Heizflächen nicht ausreichend beheizt werden. Dies führt zu erhöhtem Energieverbrauch, Komforteinbußen und unnötigen Betriebskosten.

Durch die fachgerechte Einstellung von Ventilen, Pumpen und Regelungstechnik kann die Heizungsanlage effizienter betrieben werden. Der Wärmebedarf der einzelnen Räume wird dabei berücksichtigt und die erforderlichen Volumenströme werden exakt angepasst. Dies ermöglicht niedrigere Vorlauftemperaturen, reduziert den Stromverbrauch der Umwälzpumpen und verbessert insbesondere die Effizienz moderner Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen oder Brennwertkessel.

Der hydraulische Abgleich bietet ein hohes Einsparpotenzial bei vergleichsweise geringen Investitionskosten. Je nach Gebäudezustand und Anlagentechnik können Heizenergieeinsparungen von etwa 5 bis 15 Prozent erreicht werden. Gleichzeitig werden die Voraussetzungen für den Einsatz erneuerbarer Wärmetechnologien verbessert und die Treibhausgasemissionen reduziert.

Aus kommunaler Sicht sollte der hydraulische Abgleich daher als kurzfristig umsetzbare und wirtschaftlich attraktive Effizienzmaßnahme gefördert werden. Insbesondere bei Bestandsgebäuden mit älteren Heizungsanlagen sowie im Zuge von Heizungsmodernisierungen oder energetischen Sanierungen sollte die Durchführung standardmäßig geprüft und empfohlen werden. Dadurch kann ein wichtiger Beitrag zur Senkung des Wärmebedarfs und zur Erreichung der kommunalen Klimaschutzziele geleistet werden.

8.1.3.3. Thermographie-Aktionen

Zur Identifizierung energetischer Schwachstellen im Gebäudebestand wird empfohlen, Bürgern die Teilnahme an kommunal unterstützten Thermographie-Aktionen zu ermöglichen. Mithilfe von Wärmebildaufnahmen können Wärmeverluste an Gebäuden sichtbar gemacht und Bereiche mit erhöhtem Sanierungsbedarf erkannt werden. Die Maßnahme dient dazu, Eigentümer für den energetischen Zustand ihrer Gebäude zu sensibilisieren und konkrete Anhaltspunkte für Effizienzsteigerungen zu liefern.

Im Rahmen der Aktion werden Gebäude während der Heizperiode mittels Thermographiekamera untersucht. Die entstandenen Wärmebilder zeigen beispielsweise Wärmeverluste an Fassaden, Dächern, Fenstern, Rollladenkästen oder anderen Bauteilanschlüssen. Auf Grundlage der Aufnahmen erhalten die Eigentümer eine verständliche Auswertung mit individuellen Handlungsempfehlungen. Diese können beispielsweise Maßnahmen zur Dämmung der Gebäudehülle, den

Austausch von Fenstern, die Verbesserung der Luftdichtheit oder die Optimierung der Heizungsanlage umfassen. Ergänzend können Hinweise auf geeignete Förderprogramme und Beratungsangebote gegeben werden.

Die Visualisierung von Wärmeverlusten stellt ein besonders wirksames Instrument dar, um energetische Schwachstellen greifbar und nachvollziehbar darzustellen. Während Energiekennwerte oder Verbrauchsdaten für viele Eigentümer nur schwer einzuordnen sind, ermöglichen Thermographieaufnahmen einen direkten und anschaulichen Blick auf den energetischen Zustand des Gebäudes. Dadurch wird die Bereitschaft erhöht, sich mit möglichen Sanierungsmaßnahmen auseinanderzusetzen und entsprechende Investitionen zu prüfen.

Aus kommunaler Sicht bietet die Maßnahme die Möglichkeit, die energetische Sanierung des Gebäudebestands gezielt zu unterstützen und gleichzeitig das Bewusstsein für Energieeffizienz und Klimaschutz zu stärken. Die Durchführung kann beispielsweise in Kooperation mit Energieagenturen, Energieberatern oder spezialisierten Dienstleistern erfolgen. In Verbindung mit weiterführenden Beratungsangeboten entsteht ein niedrigschwelliger Einstieg in die energetische Modernisierung.

Die Bereitstellung von Thermographie-Untersuchungen mit darauf aufbauenden Handlungsempfehlungen leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung des Wärmebedarfs im Gebäudebestand. Sie unterstützt Eigentümer bei der Priorisierung von Sanierungsmaßnahmen und fördert die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen im Einklang mit den Zielen der kommunalen Wärmeplanung.

8.1.3.4. Kommunales Energiemanagement

Die Wärmeversorgungsanlagen der kommunalen Gebäude sollten kontinuierlich professionell überwacht und die Wärme- und Brennstoffverbräuche der kommunalen Gebäude sollten systematisch erfasst und analysiert werden. Dazu wird empfohlen,

- die wärmetechnischen Anlagen über eine geeignete Monitoringsoftware durch geeignetes Fachpersonal fernzuerfassen und sicherzustellen, dass über diese Fernerfassung Störungen und Fehlfunktionen der Anlagen verlässlich erfasst und unverzüglich Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können.
- für die einzelnen Gebäude Wärmemesskonzepte mit eindeutigen Zählerstrukturen und Zählerzuordnungen zu erstellen und umzusetzen. Es sollten in jedem Fall nicht nur die eingesetzten Brennstoffmengen, sondern auch die von den jeweiligen Wärmeerzeugern erzeugten Wärmemengen mit geeichten Wärmezählern gemessen werden. Zudem sollte insbesondere bei größeren Gebäuden auch messtechnisch erfasst werden, wie sich die Wärmeenergie im Gebäude verteilt, wofür also die vom Heizkessel / der Wärmepumpe / dem BHKW etc. bereitgestellte Wärmemenge im Einzelnen eingesetzt wird.
- die Stände der insofern vorgehaltenen Zähler in Stundenauflösung digital fernzuerfassen und cloud-basiert grundsätzlich unbegrenzt zu speichern. Hierzu sollte eine geeignete Software eingesetzt werden, die in der Regel verschieden ist von der Software zur Anlagenfernüberwachung.
- mindestens kalenderjährlich auf Grundlage der erfassten Verbrauchs- und Lastgangdaten detaillierte Auswertungen der absoluten und flächenspezifischen Wärmeverbräuche, der Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger und der mitd er Wärmeerzeugung einhergehenden Treibhausgasemissionen zu erstellen.
- auf Grundlage dieser Auswertungen Zielvorgaben für die Folgejahre zu erstellen und Gegenmaßnahmen bei augenscheinlichen Ineffizienzen einzuleiten.

8.1.3.5. Hausmeister-Schulung

In den letzten Jahren haben sich die Gebäudetechnik und deren Steuerung deutlich weiterentwickelt, wodurch sich auch die Komplexität der technischen Anlagenbetriebsführung gesteigert hat. Moderne Heizungsregelung, Fernüberwachung und digitale Steuerung sowie energieeffiziente Komponenten bergen ein großes Optimierungspotenzial des Anlagenbetriebs, man kann aber auch viel falsch machen. Im Sinne eines optimierten Anlagenbetriebs, mit hoher Betriebssicherheit und Energieeffizienz, ist es wichtig, das mit diesen Anlagen betraute Personal fortlaufend entsprechend zu schulen und fortzubilden. In Weiterbildungsangeboten sollten zentrale Aspekte der Energieeffizienz und des wirtschaftlichen Anlagenbetriebs vermittelt werden, insbesondere durch digitale Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. Neben dem gemeindeeigenen Personal sollten auch externe Hausmeister eingebunden werden, die im Auftrag von Hausverwaltungen Mehrfamilienhäuser im Gemeindegebiet betreuen. So kann das für eine effiziente Betriebsführung benötigte Fachwissen in der Gemeinde gestreut werden und es wird ein Betrag zur Sensibilisierung weiterer Akteure für den energieeffizienten Gebäudebetrieb geleistet.

8.2. Kommunikation und Verstetigung

8.2.1. Kommunikationsstrategie

Gute, breit wirksame Kommunikation der vorliegenden Ergebnisse und ihrer fortlaufenden Fortschreibung ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor der kommunalen Wärmewende. Die überwiegende Mehrheit der erforderlichen Maßnahmen muss von privaten Gebäudeeigentümern, Unternehmen und weiteren lokalen Akteuren umgesetzt werden. Der große Schritt zur nachhaltigen Wärmeversorgung muss insofern aus vielen kleinen Schritten bestehen. Die Wärmeplanung kann nur erfolgreich sein, wenn die Bürger die Ziele, Hintergründe und Auswirkungen der Planung verstehen und die Möglichkeit erhalten, sich aktiv einzubringen.

Zielgruppe	Kommunikationsziel
Hauseigentümer	Information über zukünftige Wärmeversorgung und Sanierungsmöglichkeiten
Mieter	Transparenz über mögliche Veränderungen und Vorteile
Gewerbebetriebe	Information über Versorgungsperspektiven und Beteiligungsmöglichkeiten
Landwirte	Einbindung möglicher erneuerbarer Energiepotenziale
Politische Gremien	Unterstützung fundierter Entscheidungen
Vereine und lokale Initiativen	Multiplikatoren für die Informationsweitergabe
Allgemeine Öffentlichkeit	Verständnis und Akzeptanz der Wärmeplanung

Die Kommunikationsstrategie sollte die Vielfalt an Zielgruppen mit ihren je eigenen Hintergründen und Anforderungen berücksichtigen (vgl. Tabelle). Ihr Ziel sollte sein, Transparenz zu schaffen, Vertrauen aufzubauen, Fehlinformationen vorzubeugen und die Akzeptanz der geplanten Maßnahmen zu erhöhen. Gleichzeitig sollen Bürger frühzeitig über Handlungsoptionen informiert und bei anstehenden Investitionsentscheidungen unterstützt werden. Gerade in kleineren Gemeinden besteht der Vorteil kurzer Kommunikationswege und einer hohen Identifikation der Bürger mit ihrer Kommune. Diese Nähe sollte gezielt genutzt und dabei folgenden Grundsätzen gefolgt werden:

- Frühzeitige Information
- Transparente Darstellung von Chancen, Herausforderungen und Unsicherheiten
- Verständliche Sprache ohne unnötige Fachbegriffe
- Regelmäßige Kommunikation über den gesamten Umsetzungsprozess
- Dialogorientierung statt reiner Informationsvermittlung
- Niedrigschwellige Beteiligungsmöglichkeiten für alle Bevölkerungsgruppen
- Lokaler Bezug durch konkrete Beispiele aus der Gemeinde

Es empfiehlt sich eine Kombination aus digitalen und persönlichen Kommunikationsformaten. Die wesentlichen Ergebnisse und Maßnahmenempfehlungen sollten in Informationsveranstaltungen vorgestellt werden, die die Möglichkeit bietet, Fragen direkt zu beantworten und Anliegen aufzunehmen. Auf der Internetseite der Gemeinde sollte ein eigener Bereich zur kommunalen Wärmeplanung eingerichtet werden, auf dem

- der aktuelle Projektstand
- häufig gestellte Fragen (FAQ)
- Präsentationen und Protokolle
- Ansprechpartner
- Förderinformationen
- Termine und Veranstaltungen

veröffentlicht werden. Zudem wird regelmäßige Berichterstattung Fortschritte, Veranstaltungen oder Fördermöglichkeiten im Gemeindeblatt empfohlen. Auf den insofern jeweils geeigneten Kanälen sollten jährliche Sachstandsberichte vorgenommen werden, Erfolge, Misserfolge und Kennzahlen regelmäßig veröffentlicht, geplante und abgeschlossene Projekte vorgestellt, zu evtl. neuen Förderprogrammen informiert und insgesamt die Bürgerberatung fortlaufend institutionalisiert werden. Darüber hinaus sollte über Formate wie

- Bürgerwerkstätten
- Themenbezogene Workshops

- Online-Befragungen
- Diskussionsrunden
- Beteiligung lokaler Vereine und Verbände

die aktive Einbindung der interessierten Öffentlichkeit sichergestellt werden. Wichtig ist dabei eine realistische Erwartungssteuerung: Die Beteiligung ersetzt nicht politische Entscheidungen oder technische Rahmenbedingungen.

8.2.2. Verstetigungsstrategie

Erfolg in Form von Zielerreichung kann die kommunale Wärmeplanung nicht als kein einmaliges Projekt, sondern nur als langfristiger Transformationsprozess haben, der über viele Jahre hinweg begleitet und weiterentwickelt wird. Die Erstellung des Wärmeplans bildet dabei lediglich den Ausgangspunkt für die schrittweise Umsetzung der identifizierten Maßnahmen und Strategien. Um die Ziele der Wärmewende dauerhaft zu verfolgen und auf veränderte Rahmenbedingungen reagieren zu können, ist eine Verstetigungsstrategie erforderlich, die sicherstellt, dass die Wärmeplanung dauerhaft in den Strukturen der Kommune verankert und ihre kontinuierliche Weiterentwicklung sichergestellt ist.

Eine erfolgreiche Verstetigung setzt voraus, dass die Wärmeplanung als dauerhafte kommunale Aufgabe verstanden wird. Technologische Entwicklungen, neue gesetzliche Vorgaben, Veränderungen bei Energiepreisen sowie die Verfügbarkeit von Fördermitteln können die Rahmenbedingungen für die Wärmeversorgung erheblich beeinflussen. Gleichzeitig verändern sich die lokalen Gegebenheiten durch Sanierungsmaßnahmen, den Ausbau erneuerbarer Energien oder die Entwicklung von Wärmenetzen. Daher muss der kommunale Wärmeplan regelmäßig überprüft und fortgeschrieben werden.

Zur langfristigen Verstetigung des kommunalen Wärmeplans werden konkret insbesondere folgende Maßnahmen empfohlen:

- Benennung eines festen Ansprechpartners oder einer Koordinierungsstelle für die kommunale Wärmeplanung
- Regelmäßige Fortschreibung des Wärmeplans im Abstand von etwa fünf Jahren oder bei wesentlichen Änderungen der Rahmenbedingungen
- Jährliche Überprüfung des Umsetzungsstandes der priorisierten Maßnahmen
- Regelmäßige Berichterstattung an politische Gremien und die Öffentlichkeit
- Fortführung von Beteiligungs- und Austauschformaten mit relevanten Akteuren
- Kontinuierliche Beobachtung und Nutzung verfügbarer Förderprogramme
- Fortschreibung des kommunalen Maßnahmen- und Prioritätenkatalogs
- Unterstützung von Pilotprojekten und innovativen Wärmeversorgungslösungen
- Fortlaufende Aktualisierung der Planungsgrundlagen
- Verknüpfung der Wärmeplanung mit Bauleitplanung und Gemeindeentwicklung

Der letztgenannte Punkt ist von herausragender Bedeutung. Die kommunale Wärmeplanung sollte als integraler Bestandteil der räumlichen und städtebaulichen Entwicklung der Gemeinde verstanden werden. Eine frühzeitige Verknüpfung mit der Bauleitplanung und der strategischen Gemeindeentwicklung ermöglicht es, zukünftige Wärmebedarfe und Versorgungsstrukturen bereits bei der Planung neuer Baugebiete, Quartiere und Infrastrukturmaßnahmen zu berücksichtigen. Dadurch können langfristig wirtschaftliche, klimafreundliche und versorgungssichere Lösungen geschaffen sowie spätere Anpassungs- und Umrüstungskosten vermieden werden. Insbesondere bei der Aufstellung oder Fortschreibung von Flächennutzungs- und Bebauungsplänen sollten die Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung einbezogen werden. Dies betrifft beispielsweise die Ausweisung von Gebieten mit Eignung für Wärmenetze, die Sicherung von Flächen für Energieerzeugungs- und Speicheranlagen sowie die Berücksichtigung von Trassen für zukünftige Wärmeinfrastruktur. Auch bei der Entwicklung neuer Wohn- und Gewerbegebiete sollte geprüft werden, welche Wärmeversorgungslösungen unter den örtlichen Bedingungen langfristig die höchsten Effizienz- und Klimaschutzpotenziale bieten. Darüber hinaus sollte die Gemeindeentwicklung gezielt dazu genutzt werden, die Voraussetzungen für eine nachhaltige Wärmeversorgung zu verbessern. Eine kompakte Siedlungsstruktur, die Nachverdichtung bestehender Baugebiete sowie die Bündelung von Wärmebedarfen können die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen erhöhen und den Einsatz erneuerbarer Wärmequellen erleichtern. Gleichzeitig sollten energetische Anforderungen und Klimaschutzziele bei kommunalen Entwicklungsprojekten frühzeitig berücksichtigt werden. Empfohlen wird zudem eine enge Abstimmung zwischen den für Wärmeplanung, Bauleitplanung, Klimaschutz und Gemeindeentwicklung zuständigen Fachbereichen. Durch regelmäßigen Austausch können Synergien genutzt, Planungsprozesse besser aufeinander abgestimmt und Zielkonflikte frühzeitig erkannt werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die kommunale Wärmeplanung nicht isoliert betrachtet wird,

sondern als wichtiger Baustein einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Gemeindeentwicklung zur Erreichung der kommunalen Klimaschutz- und Transformationsziele beiträgt.

Von besonderer Bedeutung ist auch die Schaffung klarer Zuständigkeiten innerhalb der Verwaltung. Nur wenn die Koordination der Wärmeplanung dauerhaft personell und organisatorisch verankert wird, können Umsetzungsfortschritte systematisch begleitet und neue Entwicklungen frühzeitig berücksichtigt werden. Ebenso wichtig ist die kontinuierliche Zusammenarbeit mit Netzbetreibern, Unternehmen, Wohnungswirtschaft, Handwerk, Energieberatern und Bürgern. Die Wärmewende ist eine Gemeinschaftsaufgabe, die nur durch das Zusammenwirken aller relevanten Akteure erfolgreich umgesetzt werden kann.

Auch im Sinne der Verstetigungsstrategie ist gute Kommunikation wichtig. Die Kommune sollte regelmäßig über Fortschritte bei der Umsetzung des Wärmeplans informieren und erfolgreiche Projekte sichtbar machen. Transparenz schafft Vertrauen und erhöht die Akzeptanz der notwendigen Veränderungen. Gleichzeitig können positive Praxisbeispiele dazu beitragen, weitere Eigentümer und Unternehmen zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen oder zum Umstieg auf klimafreundliche Wärmetechnologien zu motivieren.

Insgesamt verfolgt die Verstetigungsstrategie das Ziel, die kommunale Wärmeplanung dauerhaft als Steuerungsinstrument für die lokale Wärmewende zu etablieren. Durch klare Zuständigkeiten, regelmäßiges Monitoring, eine kontinuierliche Fortschreibung der Planungsgrundlagen sowie die aktive Einbindung aller relevanten Akteure wird sichergestellt, dass die Wärmeplanung langfristig wirksam bleibt. Auf diese Weise können die Klimaschutzziele der Kommune systematisch verfolgt, die Versorgungssicherheit gestärkt und eine nachhaltige sowie zukunftsfähige Wärmeversorgung aufgebaut werden.

8.2.3. Controlling-Konzept

Der Umsetzungsstand der im Wärmeplan definierten Ziele sollte fortlaufend überwacht und die Entwicklung wesentlicher Kennzahlen sollten regelmäßig dokumentiert werden. Dadurch können Erfolge sichtbar gemacht, Hemmnisse identifiziert und Anpassungsbedarfe frühzeitig erkannt werden. Gleichzeitig schafft ein transparentes Berichtswesen die Grundlage für politische Entscheidungen und eine nachvollziehbare Kommunikation gegenüber Bürgern, Unternehmen und weiteren Akteuren. Es empfiehlt sich die Kombination eines Top-down- und Bottom-up-Ansatzes, da beide Methoden unterschiedliche Perspektiven auf die Entwicklung der Wärmeversorgung ermöglichen und sich gegenseitig ergänzen. Während der Top-down-Ansatz die Entwicklung übergeordneter Kennzahlen auf Ebene des gesamten Gemeindegebiets betrachtet, bewertet der Bottom-up-Ansatz die Umsetzung konkreter Maßnahmen und Projekte sowie deren Beitrag zur Zielerreichung.

Das Top-down-Controlling dient der Überprüfung, ob sich die Wärmeversorgung im Gemeindegebiet insgesamt in die gewünschte Richtung entwickelt. Grundlage bilden aggregierte Kennzahlen, die regelmäßig erhoben und mit den Zielwerten des Wärmeplans verglichen werden. Dadurch kann beurteilt werden, ob die angestrebte Transformation der Wärmeversorgung tatsächlich stattfindet. Wesentliche Indikatoren sind:

- Wärmeverbrauch (in MWh_{th}/a)
- Endenergieverbrauch für Wärme (MWh_{hi}/a)
- Endenergieverbrauch nach Energieträgern
- Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung (%)
- Anteil fossiler Energieträger an der Wärmeversorgung (%)
- Wärmespezifische Treibhausgasemissionen (t CO_2eq/a)
- Anzahl und Leistung installierter Wärmepumpen
- Anzahl der Heizungsanlagen nach Energieträgern
- Anschlussgrad an Wärmenetze (%)
- Entwicklung des Wärmebedarfs im Gebäudebestand

Der Top-down-Ansatz ermöglicht eine Gesamtbewertung der Zielerreichung und zeigt auf, ob die im Wärmeplan definierten Transformationspfade eingehalten werden. Gleichzeitig können langfristige Trends und strukturelle Veränderungen der Wärmeversorgung sichtbar gemacht werden.

Das Bottom-up-Controlling fokussiert auf die Umsetzung einzelner Maßnahmen und Projekte des Wärmeplans. Dabei wird erfasst, welche Aktivitäten tatsächlich durchgeführt wurden und welchen Beitrag sie zur Reduzierung des Wärmeverbrauchs oder der Treibhausgasemissionen leisten. Relevante Indikatoren sind:

- Anzahl durchgeführter hydraulischer Abgleiche
- Anzahl optimierter Heizungsanlagen

- Anzahl energetisch sanierter Gebäude
- Sanierte Gebäudeflächen (m²)
- Anzahl installierter Wärmepumpen pro Jahr
- Anzahl neu errichteter Solarthermieanlagen
- Anzahl angeschlossener Gebäude an Wärmenetze
- Länge neu gebauter Wärmenetztrassen (km)
- Anzahl durchgeführter Energieberatungen
- Anzahl Teilnehmer an Informationsveranstaltungen
- Inanspruchnahme kommunaler Förderprogramme
- Umsetzungsgrad der priorisierten Maßnahmen (%)

Durch das Bottom-up-Controlling können konkrete Umsetzungshemmnisse identifiziert und einzelne Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bewertet werden. Darüber hinaus ermöglicht dieser Ansatz eine bessere Zuordnung erzielter Effekte zu den jeweiligen Maßnahmen.

Die Qualität des Controllings hängt wesentlich von der Verfügbarkeit belastbarer Daten ab. Daher sollten bereits bei der Erstellung des Wärmeplans geeignete Datenquellen definiert und langfristig gesichert werden. Relevante Datenquellen sind:

- Energieversorgungsunternehmen und Netzbetreiber
- Bezirksschornsteinfeger
- Statistische Landes- und Bundesämter
- Fördermittelgeber
- Kommunale Bau- und Genehmigungsbehörden
- Energieagenturen und Energieberater
- Wohnungsunternehmen
- Betreiber von Wärmenetzen
- Eigene kommunale Erhebungen und Befragungen

Soweit möglich sollten standardisierte Datensätze und einheitliche Erfassungsmethoden verwendet werden, um die Vergleichbarkeit über mehrere Jahre sicherzustellen. Wobei sind die Anforderungen des Datenschutzes sowie mögliche Einschränkungen bei der Verfügbarkeit einzelner Daten zu berücksichtigen sind. Insbesondere bei kleinräumigen Auswertungen kann eine Aggregation oder Anonymisierung erforderlich sein.

Die erhobenen Daten sollten in einem zentralen kommunalen Monitoring-System zusammengeführt und regelmäßig ausgewertet werden. Empfehlenswert ist eine jährliche Aktualisierung der wichtigsten Kennzahlen sowie eine vertiefte Evaluierung in größeren Zeitabständen, beispielsweise alle drei bis fünf Jahre. Die Auswertung sollte insbesondere folgende Fragestellungen beantworten:

- Werden die Zielwerte des Wärmeplans erreicht?
- Welche Maßnahmen wurden erfolgreich umgesetzt?
- Welche Maßnahmen weisen Verzögerungen oder geringe Wirkungen auf?
- Wie entwickeln sich Wärmebedarf und Treibhausgasemissionen?
- Besteht Anpassungsbedarf bei den Maßnahmen oder den Zielsetzungen?

Die Ergebnisse sollten in einem regelmäßigen Monitoringbericht dokumentiert und den politischen Entscheidungsträgern sowie der Öffentlichkeit vorgestellt werden. Dadurch wird Transparenz geschaffen und die Fortschritte der Wärmewende werden nachvollziehbar kommuniziert.

Für die Durchführung des Controllings sollte innerhalb der Verwaltung eine verantwortliche Stelle benannt werden, beispielsweise im Bereich Klimaschutzmanagement, Energiemanagement oder Stadtentwicklung. Diese Stelle koordiniert die Datenerhebung, führt die Auswertungen durch und bereitet die Ergebnisse für Politik und Öffentlichkeit auf.

Darüber hinaus empfiehlt sich die Einrichtung eines regelmäßigen Austauschs mit relevanten Akteuren wie Netzbetreibern, Wohnungswirtschaft, Industrie, Handwerk und Energieberatern. Dies verbessert die Datenqualität, fördert die Zusammenarbeit bei der Maßnahmenumsetzung und unterstützt die kontinuierliche Weiterentwicklung des Wärmeplans.

Durch die Kombination von Top-down- und Bottom-up-Controlling entsteht ein umfassendes Monitoring- und Steuerungssystem. Während der Top-down-Ansatz die Entwicklung der Wärmeversorgung auf gesamtkommunaler Ebene bewertet, liefert der Bottom-up-Ansatz detaillierte Informationen über den Fortschritt einzelner Maßnahmen. Gemeinsam bilden beide Ansätze die Grundlage für eine wirksame Erfolgskontrolle und die langfristige Umsetzung der kommunalen Wärmewende.

9. Fördermittel

Für die Teil- und Komplettsanierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden steht derzeit eine Reihe von Fördermitteln zur Verfügung. Im Folgenden wird ein Überblick über die wichtigsten Förderprogramme erstellt (Stand Juni 2026).[71] Für weitere Details der Förderprogramme und -voraussetzungen findet sich der Verweis auf die entsprechenden Förderstellen. Wichtig: Die Förderlandschaft wird fortlaufend weiterentwickelt, angepasst und geändert. Bedingungen können sich auch kurzfristig ändern, Haushaltsmittel nicht mehr verfügbar sein, neue Programme lanciert werden. Nachfolgendes stellt insofern eine Momentaufnahme dar.

9.1. Verbraucherzentrale Bayern

Die Verbraucherzentrale Bayern bietet kostengünstig Energieberatungen an. Diese können telefonisch, digital oder in Beratungsstellen wahrgenommen werden. Die nächstgelegenen Stellen befinden sich in Herrsching oder Weilheim. Beratungstermine können unter der Telefonnummer 0800 809802400 vereinbart werden. Man kann sich unter anderem zu folgenden Themen beraten lassen: Neue Heiztechnik, Wärmedämmung und Hitzeschutz, Erneuerbare Energien, etc. Auf der Homepage der Verbraucherzentrale findet sich zudem ein Tool, mit dem für gewünschte Sanierungsmaßnahmen die verfügbaren Fördermittel ermittelt werden.[72]

9.2. Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG)

Das Förderprogramm BEG unterstützt bei der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden mit nicht rückzahlbaren Investitionszuschüssen. Folgende Teilprogramme sind Bestandteil:

- Einzelmaßnahmen (BEG-EM): Sanierung WG und NWG
- Wohngebäude (BEG-WG): Systemische Sanierung bestehender Wohngebäuden hin zu definierten Effizienzhausstandards mit Zielvorgaben zum nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauch und der Dämmqualität der Gebäudehülle
- Nichtwohngebäude (BEG-NWG): Selbiges für sog. Nichtwohngebäude

BEG-WG und BEG-NWG werden über die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) abgewickelt. Das BEG-EM ist je nach Art der Maßnahme im Zuständigkeitsbereich KfW oder des Bundesamts für Ausfuhrkontrolle (BAFA). In nachstehender Tabelle findet sich eine Übersicht nach BEG-EM geförderter Einzelmaßnahmen und ihrer jeweiligen Fördersätze. Wichtig: Antragstellung setzt den aufschiebend oder ausschließend bedingten Abschluss eines Liefer- und Leistungsvertrags mit einem ausführenden Fachbetrieb (z.B. Heizungsbaubetrieb) voraus, mit der Förderzusage durch den Fördergeber als aufschiebender oder ausschließender Bedingung.

Einzelmaßnahme	Durchführer	Grundfördersatz	Klimageschwindigkeitsbonus	Einkommensbonus	Zustätzlicher Bonus	Max. förderfähige Ausgaben
Gebäudehülle z.B. Wärmedämmung von Außenwänden, Dachflächen, Geschossdecken, Bodenflächen; Fenstertausch; Sommerlicher Wärmeschutz	BAFA	15 %			iSFP 5 %	30.000 € pro Wohneinheit, bei iSFP-Bonus 60.000 € pro Wohneinheit
Anlagentechnik (außer Heizung) Einbau/Austausch/Optimierung raumlufttech. Anlagen; Digitale Systeme zur Betriebs- und Verbrauchsoptimierung	BAFA	15 %			iSFP 5 %	
Anlagen zur Wärmeerzeugung						

[71] Für die Korrektheit der Angaben wird keine Gewähr übernommen.

[72] https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/foerderprogramme/foerderung-fuers-eigenheim-so-finden-sie-das-richtige-foerderprogramm-43745.

Einzelmaßnahme	Durch-führer	Grund-fördersatz	Klimageschwindig-keitsbonus	Einkommens-bonus	Zustätzli-cher Bonus	Max. förderfähige Ausgaben
Solarthermische Anlagen	KfW	30 %	max. 20 %	30 %	2.500 € bei Ein-haltung Emmissions-grenzwert Effizienz-Bonus 5%	30.000 € pro Wohn-einheit, jede weitere Wohn-einheit 15.000 €
Biomasseheizungen						
Elektrisch angetriebene Wär-mepumpen						
Brennstoffzellen-Heizungen						
Wasserstofffähiger Heizungen						
Innovative Heiztechnik auf Basis EE						
Errichtung & Erweiterung Ge-bäudenetz	BAFA	30 %	max. 20%	30 %	iSFP 5 %	30.000 € pro Wohn-einheit, jede weitere Wohn-einheit 15.000 €
Anschluss an Gebäudenetz (2-16 Gebäude)	KfW	30 %	max. 20 %	30 %		30.000 € pro Wohn-einheit, jede weitere Wohn-einheit 15.000 €
Anschluss an Wärmenetz (> 16 Gebäude)	KfW	30 %	max. 20 %	30 %		
Heizungsoptimierung	BAFA					30.000 € pro Wohn-einheit, jede weitere Wohn-einheit 15.000 €
Verbesserung Anlageneffizienz (hydraulischer Abgleich, Aus-tausch Heizungspumpe		15 %			iSFP 5 %	
Emissionsminderung Biomas-seheizungen (Partikelabscheider)		50 %				

Für alle Antragsteller ist die Grundförderung zugänglich. Der Klimageschwindigkeits-Bonus ist auf selbstnutzendes Wohneigentum und den Austausch einer fossilen Heizung beschränkt und wird von 2029 an schrittweise abgesenkt. Selbstnutzende Eigentümer mit einem zu versteuernden Einkommen von bis zu 40.000 € können den Einkommensbonus erhalten. Fördersätze sind bis zu einer Obergrenze von 70 Prozent kumulierbar. Der Emmissionsminderungszuschlag für Biomasseheizungen kann zusätzlich in Anspruch genommen werden. Nähere Informationen und Bedingungen zu den einzelnen Förderprogrammen sind auf der Homepage der BAFA bzw. KfW erhältlich.

Zusätzlich zu den Förderzuschüssen kann ein Ergänzungskredit beantragt werden (KfW-Programm 358, 359 bzw. 523). Voraussetzung für diesen ist eine Förderzusage der BEG EM. Die Höchstgrenze der förderfähigen Ausgaben für den Kredit beträgt 120.000 €. Für Gebäudeeigentümer mit einem Jahreseinkommen von bis zu 90.000 €, die ihre Immobilie selbst bewohnen, sind Zinsverbilligungen möglich.

Bei allen Maßnahmen mit Ausnahme der Heizungsoptimierung muss ein Energieeffizienz-Experte oder anderweitig berechtigter Sachverständiger oder Fachbetrieb eingebunden werden. Die Dena listet auf ihrer Homepage alle zulässigen Experten auf www.energie-effizienz-experten.de.

Die Höchstgrenze der Förderung beträgt 30.000 € pro Wohneinheit. In Mehrfamilienhäusern erhöhen sich die Grenzwerte abhängig von der Anzahl der Wohneinheiten. Wird für eine Maßnahme der iSFP-Bonus gewährt, so erhöht sich der Grenzwert auf 60.000 €. Die Quadratmeterzahl ist ausschlaggebend bei Nichtwohngebäuden.

Die Fachplanungs- und Bauleitungsleistungen von förderfähigen Einzelmaßnahmen werden ebenfalls mit einem Fördersatz von 50 Prozent der förderfähigen Ausgaben bezuschusst. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern sind bis zu 5.000 € Zuschuss möglich, bei Mehrfamilienhäusern bis zu 200.000 € pro Vorhaben. Die Leistungen müssen von einem Energieeffizienz-Experten erbracht werden.

Wird ein Wohngebäude umfassend auf einen definierten Energieeffizienzhausstandard mit Höchstgrenzen für den Primärenergieverbrauch und Mindestanforderungen an die Dämmqualität der Gebäudehülle, so kann dies über die KfW nach BEG-WG mit einem zinsgünstigen Kredit und einem Tilgungszuschuss gefördert werden. Je höher die Effizienzstufe, desto höher die Förderung. Zusätzliche Boni sind verfügbar, wenn das Gebäude mit Mindestquoten erneuerbarer Energie (EE-Klasse) oder besonders nachhaltigen Baumaterialien (NH-Klasse) versorgt bzw. saniert wird. Die maximal förderfähigen Kosten liegen bei 120.000 € pro Wohneinheit im Standardfall bzw. bei 150.000 €, wenn die EE- oder NH-Klasse erreicht wird. Der Tilgungszuschuss kann je nach Effizienzhaus-Stufe bis zu 20 Prozent betragen, in Kombination mit Bonusprogrammen sind Zuschüsse von bis zu 45 % möglich. Die maximale Laufzeit des Kredits beträgt 30 Jahre.

9.3. KfW-Programm 261 (Wohngebäude-Kredit)

Die KfW bietet zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden die Programme 261/262 (Kredit) und 461 (Investitionszuschuss) für Häuser an, deren Bauantrag oder Bauanzeige mindestens fünf Jahre vor Antragstellung gestellt wurde. Förderfähig sind energetische Maßnahmen, die in Ihrer Gesamtheit mindestens zur sog. Effizienzhaus-Stufe 85 führen. Es werden auch Baunebenkosten und Wiederherstellungskosten gefördert, sowie die Fachplanung und Baubegleitung durch einen Energieeffizienz-Experten. Förderfähige Maßnahmen sind:

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

Das KfW-Programm kann von jedem beansprucht werden, der Wohnraum energetisch saniert oder sanierte Wohnraum kaufen möchte. Dieser Förderkredit ermöglicht zudem die Umwidmung von Nichtwohnfläche in Wohnfläche. Es gelten die gleichen Bedingungen wie bei der Sanierung von Wohnraum. Folgende Umwidmungen sind möglich:

- Ungeheizte Nichtwohnfläche —> Erweiterung von bestehender Wohneinheit
- Ungeheizte denkmalgeschützte Nichtwohnfläche —> Neue Wohneinheit oder Erweiterung von bestehender Wohneinheit
- Beheizte Nichtwohnfläche —> Neue Wohneinheit oder Erweiterung von bestehender Wohneinheit

9.4. KfW-Programm 270 (Erneuerbare Energien - Standard)

Mit diesem Programm werden über einen Kredit Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien für die Erzeugung von Strom und Wärme gefördert. Folgende gehören dazu:

- Errichtung, Erweiterung und Erwerb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien einschließlich der dazugehörigen Kosten für Planung, Projektierung und Installation
  - Photovoltaik-Anlagen auf Dächern, an Fassaden oder auf Freiflächen
  - Anlagen zur Stromerzeugung aus Wasserkraft bis zu 20 MW
  - Anlagen zur Stromerzeugung aus Wind
  - Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen auf der Basis von fester Biomasse, Biogas und Erdwärme
  - Anlagen zur Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung von Biogas, Biogasleitungen
  - Batteriespeicher
- Errichtung, Erweiterung, Erwerb von Anlagen zur Wärmeerzeugung
- Wärme-/Kältenetze und Wärme-/Kältespeicher
- Flexibilisierung von Stromnachfrage und -angebot, Digitalisierung der Energiewende, systemverträgliche Integration der erneuerbaren Energien ins Energiesystem
- Contracting-Vorhaben und Modernisierungen mit Leistungssteigerung

9.5. Programme für Unternehmen

Im gewerblichen Bereich stehen andere Förderprogramme zur Verfügung, u.a.

- Nichtwohngebäude - Kredit (KfW-Programm 263)
- Investitionskredit Nachhaltige Mobilität (KfW-Programm 268, 269)
- Energieeffizienz in der Wirtschaft (KfW-Programm 292, 295)
- Förderung klimafreundlicher Aktivitäten (klimafreundliche Produktionsanlagen, Energieversorgung, Technologien, etc.; KfW-Programm 293). Mit diesem Förderprogramm werden Investitionen in Maßnahmen zur Verringerung, Vermeidung und Abbau von Treibhausgasemissionen in Anlehnung an technische Kriterien der EU-Taxonomie für nachhaltige Wirtschaften gefördert. Es ist in sieben Module aufgebaut:
  - Modul A: Herstellung klimafreundlicher Technologien
  - Modul B: Klimafreundliche Produktionsverfahren in energieintensiven Industrien
  - Modul C: Energieversorgung durch Photovoltaik-Anlagen und andere Erneuerbare-Energien-Anlagen, Maßnahmen zum Ausbau der Stromübertragungs- und verteilnetze, Energiespeicher, Herstellung von Treibstoffen, Gas- und Wärmenetze, Ausbau oder Umrüstung sowie Sanierung von Gas-, Wärme- und Kältenezten, CO_2-arme Wärmeerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung
  - Modul D: Wasser, Abwasser, Abfall
  - Modul E: Transport und Speicherung von CO_2
  - Modul F: Integrierte Mobilitätsvorhaben
  - Modul G: Green IT

Es werden zusätzlich Ausgaben für Planungs- und Umsetzungsbegleitung sowie die Erstellung von Gutachten und Nachweisen zur Einhaltung der technischen Mindestanforderungen gefördert.

9.6. Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)

Die Bundesförderung effiziente Wärmenetze ist das zentrale Förderprogramm für die Errichtung, Erweiterung und Transformation von auf erneuerbaren Quellen beruhenden Wärmenetzen. Als Wärmenetz im Sinne dieser Richtlinie gelten grundsätzlich Wärmeverbünde aus mindestens 17 Gebäuden oder mindestens 100 Wohneinheiten. Netze, die diese Grenzwerte unterschreiten, gelten bundesförderrechtlich als sog. Gebäudenetze und können – sofern es sich um Bestandsgebäude – nach BEG-EM gefördert werden. Die BEW hingegen ist – wenig logisch – nicht auf Bestandsgebäude beschränkt. Sie ist in drei Module gegliedert:

- Im Modul 1 werden u.a. Machbarkeitsstudien (Konzeptstudien) für die Errichtung neuer EE-Wärmenetze und die Nachhaltigkeits-Transformation bestehender Wärmenetze mit bis zu 50 Prozent der förderfähigen Kosten bis zu einem Maximalbetrag von 2 Mio. € gefördert. Planungsleistungen der Leistungsphasen 1-4 der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) können über dieses Modul gefördert werden.
- Das Modul 2 unterstützt die Umsetzung von Wärmenetzen, die einen regenerativen Anteil von mindestens 75 Prozent nachweisen. Die Förderung umfasst alle Maßnahmen von der Installierung der Erzeugungsanlagen über die Wärmeverteilung bis zur Übergabe der Wärme an die versorgten Gebäude. Es werden 40 Prozent der förderfähigen Ausgaben gefördert. Die maximale Projekt-Fördersumme beträgt 100 Mio. €.
- Das Modul 3 fördert die Umsetzung gewisser Einzelmaßnahmen bei Bestandsnetzen, für die ein Transformationsplan hin zum klimaneutralen Wärmenetzsystem bis 2045 vorliegt. Hier werden Zuschüsse für die Errichtung und Integration von regenerativen Wärmequellen gewährt.

9.7. BioWärme Bayern

Das Förderprogramm BioWärme Bayern ermöglicht finanzielle Unterstützung für die Errichtung von Biomasseheizwerken und Nahwärmenetzen. Ab einer thermischen Leistung von 60 kW können Mittel abgerufen werden, die die Investitionsmehrkosten im Vergleich zu fossilen Alternativen mindern. Es kann eine Förderung des Wärmenetzes mit 100 € je Trassenmeter sowie 1.800 € je Übergabestation beantragt werden, sofern ein neuer Biomassekessel errichtet wird. Für diese Netzförderung gelten Pauschalwerte, die maximale Förderhöhe liegt bei 100.000 €. Nachgewiesen werden muss, dass der Netzverlust geringer als 15 Prozent der erzeugten Wärme beträgt. Die Förderung des Biomassekessels inkl. Installation beträgt bis zu 30 Prozent der Investitonskosten und ist auf 350.000 € begrenzt. Zusätzlich gibt es einen sog. „Fuel-Switch-Bonus“ von 10 Prozent, falls primär fossile Heizungen ersetzt werden. Die Antragstellung ist mit geringem bürokratischem Aufwand verbunden. Kumulierungen mit der BEG (nicht aber BEW) sind möglich, es muss allerdings bei der Antragstellung auf die richtige Reihenfolge geachtet werden. Nach BEG-Richtlinien darf ein Liefer- und Leistungsver-

trag für ein Projekt nur unter der aufschiebenden Bedingung einer Förderzusage abgeschlossen werden; bei BioWärme Bayern muss ein vollständiger Antrag vorliegen, bevor ein Liefer- und Leistungsvertrag abgeschlossen werden kann.

9.8. LfA Förderbank Bayern - Energie-und Umweltprogramme

Die LfA Förderbank Bayern bietet zinsgünstige Darlehen zur Finanzierung von Investitionen in Energieeffizienz, CO_2-Reduktion und erneuerbare Energien. Die Programme richten sich an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft sowie an Freiberufler mit einem Jahresumsatz von bis zu 500 Mio. €. Auch wirtschaftlich tätige Kommunalunternehmen sind antragsberechtigt, sofern sie als eigenständige juristische Personen agieren.

Ein zentrales Förderangebot ist hier der sog. „Energiekredit Wärme“. Bezuschusst werden unter anderem Investitionen in die Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Wärme und Kälte auf Grundlage von regenerativen Energien mit einem Anteil von mindestens 75 Prozent. Die Darlehenshöhe beträgt mindestens 25.000 € und max. 10 Mio. € pro Vorhaben. Es können bis zu 100 Prozent der förderfähigen Investitionskosten finanziert werden.

Zusätzlich stehen weitere Programme zur Verfügung:

- Energiekredit Regenerativ: Für Anlagen zur Strom- oder Wasserstofferzeugung aus erneuerbaren Quellen sowie deren Speicherung
- Energiekredit Gebäude: Für die energetische Sanierung von gewerblich genutzten Gebäuden
- Energiekredit Produktion: Für Maßnahmen zur CO_2-Minderung und Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen

Die Darlehen werden in einer Höhe von bis zu 40 Mio.€ vergeben mit Laufzeiten von bis zu 20 Jahren, teilweise tilgungsfrei in den ersten Jahren. Die Zinssätze liegen in der Regel deutlich unter Marktniveau und sind risikogerecht. Eine Kombination mit anderen Förderprogrammen ist grundsätzlich möglich.

10. Verzeichnisse

10.1. Literatur

- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) (2023): Richtlinie zur Förderung des Vertragsnaturschutzprogramms (VNP) / Landschaftspflege- und Naturparkrichtlinien (LNPR) – BayFoV 2023 (je nach Kontext der Abkürzung „BayFoV“). Bekanntmachung im Bayerischen Ministerialblatt (BayMBl.), 2023. München.
- BDH & BWP (2026): Absatzstatistik Wärmepumpen / Heizungsmarkt Deutschland. Köln/Berlin: Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie & Bundesverband Wärmepumpe.
- https://www.lfu.bayern.de/wasser/thermische_nutzung/index.htm.
- BMWK & BMWSB (2024a): Leitfaden Wärmeplanung, Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche. Heidelberg, Freiburg, Stuttgart, Berlin, Juni 2024.
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (2024): dena-Gebäudereport 2024. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH, https://www.dena.de/infocenter/gebaeudereport/.
- Faraldo, F., Byrne, P. (2024): A Review of Energy-Efficient Technologies and Decarbonating Solutions for Process Heat in the Food Industry. Energies, 17(12), 3051. https://doi.org/10.3390/en17123051. Diese aktuelle Übersichtsarbeit fasst Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, Wärmerückgewinnung, Elektrifizierung und Dekarbonisierung der Prozesswärme in der Lebensmittelindustrie zusammen.
- Fraunhofer IEE, LfL & Witzenhausen-Institut (2024): Endbericht Biogaspotenzial in Bayern – Neuermittlung des technischen Biogaspotenzials im Energie-Atlas Bayern. Im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU), Energie-Atlas Bayern, München.
- Hamacher, Thomas & Hausladen, Gerhard (2011): Leitfaden Energienutzungsplan. Herausgegeben von: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT) sowie Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München 2011.
- https://www.bundesumweltministerium.de/pressemitteilung/treibhausgasdaten-zeigen-klimaschutz-braucht-neuen-schub.
- https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen.
- https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online
- https://www.dena.de/biogaspartner/biomethan/einspeiseatlas/.
- https://www.karten.energieatlas.bayern.de.
- https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/FAQ/Wassertstoff-Kernnetz/faq-wasserstoff-kernnetz.html.
- https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/foerderprogramme/foerderung-fuers-eigenheim-so-finden-sie-das-richtige-foerderprogramm-43745.
- https://www.iwu.de/publikationen/tools/energieprofil/webtool/
- Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., Born, R. (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, https://www.iwu.de/projekte/gebaeudetypologie/
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (2024): dena-Gebäudereport 2024. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH, https://www.dena.de/infocenter/gebaeudereport/
- Padullés, R., Andersen, M. P., Mogensen, N. B. et al. (2026): Padullés, R., Andersen, M. P., Mogensen, N. B., Walden, J., Zühlsdorf, B., & Jensen, J. K. (2026). Generalized electrification solutions for breweries: A Pinch Analysis-based approach to Heat Pump integration and process decarbonization. Energy Conversion and Management, 357, 121292. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2026.121292.
- StMWi Bayern (2025): Kurzgutachten, Eignungsprüfung für die kommunale Wärmeplanung, Andechs.
- Wuppertal Institut (2008): Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt. Ein Anstoß zur gesellschaftlichen Debatte.Studie des Wuppertal Instituts im Auftrag von Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Brot für die Welt und Evangelischer Entwicklungsdienst. Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag.
- Webersinn, J. (2026): Energieholzpotenzialstudie Oberland – Nachhaltiges Energieholzpotenzial und aktueller Energieholzverbrauch in den Landkreisen Bad Tölz-Wolfratshausen, Miesbach, Weilheim-Schongau und Garmisch-Partenkirchen. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, betreut von Prof. Dr. Andreas Rothe. Ergebnisse veröffentlicht durch die Bürgerstiftung Energiewende Oberland.
- WWA Weilheim (2024): Wasserwirtschaftliche Standortbeurteilung für die Errichtung von Erdwärmesonden.

10.2. Anhänge

- Anhang 1: Kartographische Darstellung - Versorgungsarten in Andechs
- Anhang 2: Kartographische Darstellung - Wärmedichte Raster in Andechs
- Anhang 3: Kartographische Darstellung - Wärmedichte Baublock in Andechs
- Anhang 4: Kartographische Darstellung - Wärmeliniendichte in Andechs
- Anhang 5: Kartographische Darstellung - Hauptnutzungsarten in Andechs
- Anhang 6: Kartographische Darstellung - Baualtersklassen in Andechs
- Anhang 7: Kartographische Darstellung - Wärmeversorgungsgebiete in Andechs
- Anhang 8: Parameter der vergleichend betrachteten Versorgungssysteme