ENERGIE WENDE OBERLAND
Kompetenzzentrum Energie EKO e.V.

ENERGIENUTZUNGSPLAN

Gemeinde Schwaigen

Energiewende Oberland - Kompetenzzentrum Energie EKO e.V.

Auftraggeber

Gemeinde Schwaigen

Auftragnehmer

EWO-Kompetenzzentrum Energie EKO e.V., Penzberg

Dank

Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Verwaltungsgemeinschaft Ohlstadt, die umfangreiches Datematerial zur Erstellung des Energienutzungsplans zur Verfügung stellten.

Bei der Erarbeitung des Konzepts haben dankenswerterweise auch das für Schwaigen zuständige Forstrevier Murnau-Ost und die Forstverwaltung Oberammergau mit ihrem wertvollem Hintergrundwissen mitgewirkt.

Titelbild

Stefan Drexlmeier

Impressum

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

Autoren: Scharli Andreas, Regauer Christiane
Jahr: 2019

Vertretungsberechtigter Vorstand: Stefan Drexlmeier

Registergericht: Amtsgericht München
Registernummer: VR 204261

Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie

Inhalt

Abbildungsverzeichnis ..... **V**

Tabellenverzeichnis ..... **VIII**

Abkürzungen ..... **IX**

Vorwort ..... **X**

1. Einleitung **11**

1.1 Ausgangslage 12

1.2 Übersicht Gemeinde Schwaigen 12

1.3 Demographie 13

1.4 Wirtschaft und Flächennutzung 14

1.5 Natur und Landschaftsschutz 15

1.6 Klima 17

2. Bestandsanalyse **19**

2.1 Strom 21

2.2 Wärme 22

2.3 Gebäudebestand und Wärmekataster 23

2.4 Kommunale Liegenschaften – Energie-Benchmarking 24

2.4.1 Gesamter und spezifischer Heizenergieverbrauch 25

2.4.2 Spezifischer Stromverbrauch 26

2.5 Primärenergiebedarf 27

2.6 CO_2-Bilanz 28

2.7 Vergleichende Betrachtung 29

3. Potenzialanalyse **30**

3.1 Energieeinsparpotenziale bis 2035 30

3.1.1 Einsparpotenziale Strom 31

3.1.2 Wärmeeinsparpotenziale im Gebäudebestand 31

3.1.3 Effizienz in der Energieerzeugung 34

3.2 Regenerative Energieerzeugungspotenziale 35

3.2.1 Solarenergie (Dachflächen) 35

3.2.2 Freiflächen-Photovoltaik 39

3.2.3 Bioenergie aus Land- und Forstwirtschaft 40
3.2.4 Windenergie 46
3.2.5 Wasserkraft 48
3.2.6 Oberflächennahe Geothermie 48
3.2.7 Tiefengeothermie 54
3.2.8 Abwärmepotenziale 54
3.2.9 E-Mobilität 55
4. Konzeptentwicklung 56
4.1 Handlungsbedarf und Handlungsoptionen 56
4.1.1 Strom 56
4.1.2 Wärme 58
4.1.3 Ausbauszenario Erneuerbare Energien 60
4.2 Wirtschaftliche Bewertung EE-Ausbau 64
5. Maßnahmenvorschläge für Schwaigen 66
5.1 Kommunale Liegenschaften 67
5.1.1 PV – Anlage Dorfladen 67
5.1.2 PV - Anlage Mehrzweckhalle 68
5.1.3 PV - Anlage Pumpstation „Smart Flower“ 69
5.2 Dorfheizung Grafenaschau 69
5.3 Maßnahmen für Bürgerinnen und Bürger 74
5.3.2 Energiekarawane Schwaigen 75
5.3.3 Rundgang mit Thermografie-Kamera 76
5.3.4 Exkursionen zu Energieprojekten 76
5.4 Sonstige Handlungsmöglichkeiten der Kommune 77
5.4.1 Bauherrenstammtisch für zukünftige Neubaugebiete 77
5.4.2 Klimaschutz in der Bauleitplanung 77
5.4.3 Bewerbung Solarpotenzialkataster 78
5.5 Nutzung der Windenergie 79
5.6 Übersicht der Maßnahmen 81
6. Fördermittel und Finanzierung für Energieprojekte 83
6.1 Verbraucherzentrale Bayern 83

6.2 PV-Speicher Programm 83
6.3 KfW-Programm 151/152 Energieeffizient Sanieren – Kredite 84
6.4 KfW-Programm 430 Energieeffizient Sanieren - Investitionszuschuss 85
6.5 KfW-Programme für Unternehmen 86
6.6 BAFA-Zuschuss für erneuerbare Energien (Marktanreizprogramm) 87
6.6.1 Biomasse-Anlagen 87
6.6.2 Solarkollektoranlagen (thermisch) 88
6.6.3 Wärmepumpen (bis 100 kW Nennwärmeleistung) 88
6.6.4 Gas-Hybridheizungen 89
6.6.5 „Renewable Ready“ Gas-Brennwertheizungen 89
6.7 Impulsprogramm Mini-KWK-Anlagen (BAFA) 90
6.8 Heizungsoptimierung 91
7. Anhang 92
8. Literaturverzeichnis 94

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht des Gemeindegebiets von Schwaigen. 12
Abbildung 1-2: Entwicklung der Bevölkerungszahl in Schwaigen von 1960-2016 und Vorausberechnung für den 31.12.2035 (LfStat 2017, 2018b). 13
Abbildung 1-3: Bevölkerungsentwicklung (1987 vs. 2016) nach Altersgruppen in Schwaigen (LfStat 2017c). 14
Abbildung 1-4: Übersicht der Flächennutzung in Schwaigen (LfStat 2018a). 14
Abbildung 1-5: Entwicklung der Wohnfläche in Schwaigen seit 1987 (LfStat 2018c). 15
Abbildung 1-6: Darstellung aller Schutzgebietskategorien in Schwaigen. 16
Abbildung 1-7: Klimaveränderungen im Oberland dargestellt anhand langjähriger Klimaveränderungen gemessen am meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg (DWD 2018). 18
Abbildung 2-1: Energieverbrauch nach Sektoren: Mobilität, Strom, Wärme. 19
Abbildung 2-2: Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren. 20
Abbildung 2-3: Aufteilung des Netzabsatzes in Schwaigen nach Sektoren im Jahr 2016 (Bayernwerk AG 2018a). 21
Abbildung 2-4: Gegenüberstellung von Stromverbrauch und -erzeugung (Bayernwerk AG 2019a, 2019b). 22
Abbildung 2-5: Räumliche Darstellung der bestehenden erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen (Strom) in Schwaigen. Die Größe der Balken orientiert sich an der installierten Anlagenleistung. 22
Abbildung 2-6: Ermittelter Energiemix Wärme (Endenergie) in Schwaigen (2016). 23
Abbildung 2-7: Ausschnitt des LoD2-Gebäudemodells in Schwaigen-Grafenaschau (Basiskarte: OpenStreetMap.org). 23
Abbildung 2-8: Wärmedichtekarte Schwaigen-Grafenaschau [MWh/(ha*a)]. 24
Abbildung 2-9: Anteil der Energieträger am gesamten Heizwärmeverbrauch kommunaler Liegenschaften 2016/17. 25
Abbildung 2-10: Spezifischer Heizenergieverbrauch (witterungsbereinigt) der kommunalen Liegenschaften im Vergleich zum dena-Verbrauchskennwert. 26
Abbildung 2-11: Spezifischer Stromverbrauch kommunaler Liegenschaften im Vergleich zum DENA-Verbrauchskennwert. 27
Abbildung 2-12: Spezifischer Stromverbrauch von Wasser-/ Abwasseranlagen, Leichenhaus und Straßenbeleuchtung in Schwaigen. 27
Abbildung 2-13: Primärenergiebilanz nach Energieträgern in der Gemeinde Schwaigen. 28
Abbildung 2-14: CO2-Bilanz nach Verbrauchssektoren. 28
Abbildung 3-1: Übersicht der Betrachtungsebenen von Energiepotenzialen (StMUG u. a. 2011). 30
Abbildung 3-2: Nutzwärmesumme [MWh/a] im Ortsteil Grafenaschau im Bestand (links) und im Jahr 2035 bei einer Sanierungsquote von 2 % pro Jahr (rechts). 33
Abbildung 3-3: Mögliche Wärmebedarfsentwicklung in Schwaigen bei Sanierungsquoten von 1 % und 2 %. 33

Abbildung 3-4: Durch Korrektur der Globalstrahlungsdaten nach Neigung und Ausrichtung ist für jede Dachfläche die verfügbare Globalstrahlung bekannt (Hofer u. a. 2016). 37
Abbildung 3-5: Forstliche Übersichtskarte mit Eigentumsverhältnissen in Schwaigen. 41
Abbildung 3-6: Bereits genutzte und zusätzlich nachhaltig nutzbare Holzpotenziale in Schwaigen. 42
Abbildung 3-7: Die sich aus dem Nutztierbestand im Jahr 2016 in Schwaigen theoretisch ergebenden Biogaspotenziale. 44
Abbildung 3-8: Beispiele für alternative Biogassubstrate: Sida (1) und Riesenweizengras (2), mit denen jeweils hohe Biogaserträge erzielt werden können (Biogas Forum Bayern 2017). 45
Abbildung 3-9: Der Anbau von KUP ist nicht nur eine Möglichkeit Hackschnitzel als Bioenergieträger zu gewinnen, sondern kann außerdem Bodenerosionen verhindern und für vielfältigere Anbaustrukturen sorgen. 45
Abbildung 3-10: Gebietskulisse Windkraft (nach: StMWi 2019b). 46
Abbildung 3-11: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 130 m Höhe über Grund. 47
Abbildung 3-12: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 10 m Höhe über Grund. 48
Abbildung 3-13: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmekollektoren in Schwaigen. 51
Abbildung 3-14: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmesonden in Schwaigen. 52
Abbildung 3-15: Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen in Schwaigen. 53
Abbildung 3-16: Gebiete in Bayern mit günstigen geologischen Verhältnissen zur hydrothermalen Wärmegewinnung. 54
Abbildung 3-17: Die Verknüpfung von Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wie Sonne und E-Mobilität kann zukünftig einen Beitrag leisten, um die verkehrsbedingten Emissionen in der Region zu senken. 55
Abbildung 4-1: Anteil des in Schwaigen erneuerbar erzeugten Stroms am Gesamtstrombezug. 56
Abbildung 4-2: Ist-Stand und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung in Schwaigen. 57
Abbildung 4-3: Erneuerbarer und fossiler Anteil der Wärmeversorgung im Jahr 2016 in Schwaigen. 58
Abbildung 4-4: Ist-Stand (2016) und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung in Schwaigen. 59
Abbildung 4-5: Vor- und Nachteile von Wärmenetzen aus erneuerbaren Energien. 60
Abbildung 4-6: Mögliches Strom-Szenario bis 2035 in Schwaigen. 61
Abbildung 4-7: Mögliches Wärme-Szenario 2035 in Schwaigen. 62
Abbildung 4-8: CO_2 - Emissionen bei Realisierung der Strom- und Wärmeszenarien 2035 in Schwaigen. 63
Abbildung 4-9: Summe der Gesamtkosten 2016 für Wärme und Strom in Schwaigen. 64
Abbildung 4-10: Regionale Wertschöpfung 2016 und entsprechend der Szenarien 2035 durch erneuerbare Energien. 65
Abbildung 5-1: Ablaufschema bei der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen. 67
Abbildung 5-2: PV-Anlage aud dem Dach des Dorfladens. 68

Abbildung 5-3: PV-Anlage auf der Mehrzweckhalle. 68
Abbildung 5-4: Aufgefächerte "Smart Flower" (https://smartflower-germany.de/pop/)..... 69
Abbildung 5-5: Wärmedichtekarte von Grafenaschau. Die blaue Ellipse zeigt den Bereich entlang der Birkenallee. 70
Abbildung 5-6: Vergleich der Vollkosten je MWh Nutzwärme für unterschiedliche Energieträger (Eigene Berechnung nach: C.A.R.M.E.N. e.V. 2019). 71
Abbildung 5-7: Jahresdauerlinie Dorfheizung Grafenaschau Birkenallee. 72
Abbildung 5-8: Ausschnitt aus dem Solarpotenzialkataster Schwaigen (Zugspitz Region GmbH 2019)..... 79
Abbildung 5-9: Berechnete Volllaststunden für Windenergieanlagen in Schwaigen (StMWi 2019b). 80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Primärenergiebedarf in Schwaigen nach Energieträgern und zugehörige Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12. 28

Tabelle 2-2: CO_2-Äquivalente der jeweiligen Energieträger [kg/MWh] (kea 2016; Umweltbundesamt 2018). 29

Tabelle 2-3: Einwohnerspezifischer Vergleich der Endenergie- und CO_2-Bilanz (Bayernwerk AG 2018a; LfStat 2018a, B.A.U.M Consult GmbH 2012; Burger 2018). 29

Tabelle 3-1: Reduzierung des Netto-Heizwärmebedarfs pro Jahr je Baualtersklasse für Einfamilienhäuser nach unterschiedlichen Modernisierungszielen (Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born 2015, 153 ff). 34

Tabelle 3-2: Übersicht über das PV-Potenzial auf den Dachflächen der Gemeinde Schwaigen. 37

Tabelle 3-3: Übersicht über das ST-Potenzial auf den Dachflächen der Gemeinde Schwaigen. 38

Tabelle 3-4: Berechnungsgrundlage zur Abschätzung des Biogaspotenzials in Schwaigen (FNR 2014). .. 43

Tabelle 8-1: Energieberatungsangebot der Verbraucherzentrale Bayern. 83

Tabelle 8-2: Staffelung des Förderumfangs im PV-Speicher Programm. 84

Tabelle 8-3: Umfang der Förderungen der Förderprogramme 151/152. 85

Tabelle 8-4: Umfang der Förderungen des Förderprogramms 430. 86

Tabelle 8-5: Basisförderung bei Mini-KWK-Anlagen (BAFA 2018b). 90

Abkürzungen

ALKIS	**A**mtliches **L**iegenschafts**k**ataster**i**nformations**s**ystem
LWF	**B**ayerische Landesanstalt für **W**ald und **F**orstwirtschaft
BAFA	**B**undes**a**mt **f**ür Wirtschaft und **A**usfuhrkontrolle
BImSchG	**B**undesimmissions**sch**utz**g**esetz
BSW	**B**undesverband **S**olarwirtschaft e.V.
BWE	**B**undesverband **W**ind **E**nergie
CO_2	Kohlenstoffdioxid
dena	**D**eutsche **EN**ergie **A**gentur
DGS	**D**eutsche **G**esellschaft für **S**onnenenergie e.V.
DWD	**D**eutscher **W**etter**d**ienst
EKO	Energiewende Oberland – Kompetenzzentrum Energie EKO e.V.
EnEV	**En**ergie**E**inspar**V**erordnung
ENP	**E**nergie**n**utzungs**p**lan
EW	**E**in**w**ohner
EWO	**E**nergie**w**ende **O**berland
Fm	**F**est**m**eter
GW	**G**iga**w**att
GWh	Gigawattstunde
INOLA	Innovationen für ein nachhaltiges Land- und Energiemanagement
KBA	**K**raftfahrt-**B**undes**a**mt
KfW	**K**reditanstalt **f**ür **W**iederaufbau
KU	**K**ommunal**u**nternehmen
kW	**K**ilo**w**att
kWh	Kilowattstunde
LfL	Bayerische **L**andesanstalt **f**ür **L**andwirtschaft
LfU	**L**andesamt **f**ür **U**mweltschutz
LfStat	Bayerisches **L**andesamt **f**ür **Stat**istik
LMU	**L**udwigs-**M**aximilians-**U**niversität München
m²	Quadratmeter
MW	**M**ega**w**att
MWh	Megawattstunde
PV	**P**hoto**v**oltaik
srm	**S**chütt**r**aum**m**eter
ST	**S**olar**t**hermie
TP	**T**ier**p**latz
TUM	**T**echnische **U**niversität **M**ünchen
VDI	**V**erein **D**eutscher **I**ngenieure

Vorwort

Liebe Bürgerinnen und Bürger,

Wir sind zwar eine kleine Gemeinde aber wir besitzen - angefangen von der großen Waldfläche bis hin zu vielen Sonnenstunden - ein enormes naturräumliches Potenzial. Mindestens genauso wertvoll ist für mich unsere lebendige und aktive Dorfgemeinschaft. Deshalb liegt es mir sehr am Herzen, die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern zu schaffen. Damit auch für unsere Kinder die hohe Lebensqualität in unserem schönen Ort erhalten bleibt.

Schon jetzt ist zum Thema Energiewende einiges los bei uns. Zum Beispiel mit der Energiekarawane, die Anfang 2020 nach Schwaigen kommt. Aber auch mit den bereits stattgefundenen Vorgesprächen zu einer möglichen Dorfheizung sind jetzt wichtige Grundsteine für eine zukunftsfähige und klimaschonende Wärmeversorgung gelegt. Mit der Versorgung aus kurzen Wegen, der Einbindung der lokalen Akteure und gemeinschaftlichem Engagement kann uns hier ein richtiges Vorzeigeprojekt gelingen.

Zu allen ökologischen Vorteilen der Nutzung unserer erneuerbaren Ressourcen kommt die regionale Wertschöpfung hinzu: Das Geld zur Energieerzeugung bleibt in der Region.

Mit dem Energienutzungsplan haben wir jetzt ein Werkzeug, um unsere ehrgeizigen Ziele in der Energiewende und dem Klimaschutz umzusetzen. Dieser zeigt Möglichkeiten auf, welchen Beitrag sowohl wir als Gemeinde leisten können aber auch was jede und jeder Einzelne von uns zur Energiewende beitragen kann.

Für die Zukunft wünsche ich mir, dass wir weiter gemeinsam an einem Strang ziehen um den Weg zur Unabhängigkeit von den fossilen Energieträgern zu meistern.

Hubert Mangold,

1. Bürgermeister der Gemeinde Schwaigen

1. Einleitung

Der vorliegende Energienutzungsplan stellt eine umfassende Analyse des Ist-Standes der Energiewende in der Gemeinde Schwaigen dar und erfasst zudem alle auf dem Gemeindegebiet vorhandenen und nutzbaren Potenziale erneuerbarer Energieträger für eine nachhaltige Energieversorgung.

Einige Photovoltaik-Anlagen sind schon auf den Dächern Schwaigens installiert und in einem Großteil der Eigenheime spielt die Biomasse eine wichtige Rolle zur Wärmebereitstellung. Dennoch tragen sowohl im Strom- als auch Wärmebereich die fossilen Energieträger noch immer den größten Beitrag zur Energieerzeugung bei. Mit diesem Energienutzungsplan erhält die Gemeinde einen Leitfaden, wie sie die lokale Energiewende vorantreiben und damit die eigenen Potenziale besser nutzen kann.

Zahlreiche mit der Gemeindeverwaltung abgestimmte Maßnahmenvorschläge zeigen zudem Handlungsmöglichkeiten auf, wie die Gemeinde Ihrer Vorbildfunktion beim Klimaschutz weiter gerecht werden kann. In diesen konkreten Handlungsempfehlungen sind sowohl Maßnahmen aus den Bereichen kommunale Liegenschaften, eine Dorfheizung als Wärmeverbundlösung, als auch solche Maßnahmen enthalten, die insbesondere Bürgerinnen und Bürger ansprechen. Um vorhandenes Vor-Ort-Wissen sowie die Akzeptanz gegenüber den Maßnahmenvorschlägen im Gemeindegebiet berücksichtigen zu können, wurden zahlreiche lokale Akteure bei der Erstellung dieses Energienutzungsplanes einbezogen. Daraus entwickeln sich besonders wichtige Bausteine bei der Konzeptentwicklung.

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

Das übergeordnete Ziel der Planungsregion Oberland mit den Landkreisen Bad Tölz-Wolfratshausen, Garmisch-Partenkirchen, Miesbach und Weilheim-Schongau ist die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern bis 2035. Damit soll eine Vorreiterrolle im Klima- und Ressourcenschutz eingenommen werden. Auch die Gemeinde Schwaigen unterstützt mit Ihrem Beitritt zur Energiewende Oberland dieses ambitionierte Ziel. Ein wichtiger Beitrag dazu ist der vorliegende Energienutzungsplan.

1.1 Ausgangslage

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

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

Diesen Kapiteln vorangestellt ist eine kurze Übersicht über Schwaigen.

1.2 Übersicht Gemeinde Schwaigen

Die Gemeinde Schwaigen liegt am Fuße des östlichen Ammergebirges zwischen den Ammergauer Alpen und dem Murnauer Moos.

Zur Gemeinde gehören der im Norden gelegene Hauptort Grafenaschau und der Weiler Fuchsloch sowie die südöstlich davon gelegenen Ortsteile Vorder- und Hinterbraunau, Apfelbichl und Plaiken. Die besiedelten Bereiche nehmen nur einen kleinen Teil der gesamten Gemeindefläche ein und liegen im Osten des Gemeindegebietes auf einer flachen Ebene, welche von zahlreichen Bächen durchzogen und zum Murnauer bzw. Eschenloher Moos hin entwässert wird. Das Gemeindegebiet liegt auf einer Höhenlage um 656 m. ü. NN und erstreckt sich auf eine Höhe bis rund 1.540 m ü. NN. Die Gemeindefläche beträgt insgesamt rund 2.358 ha.

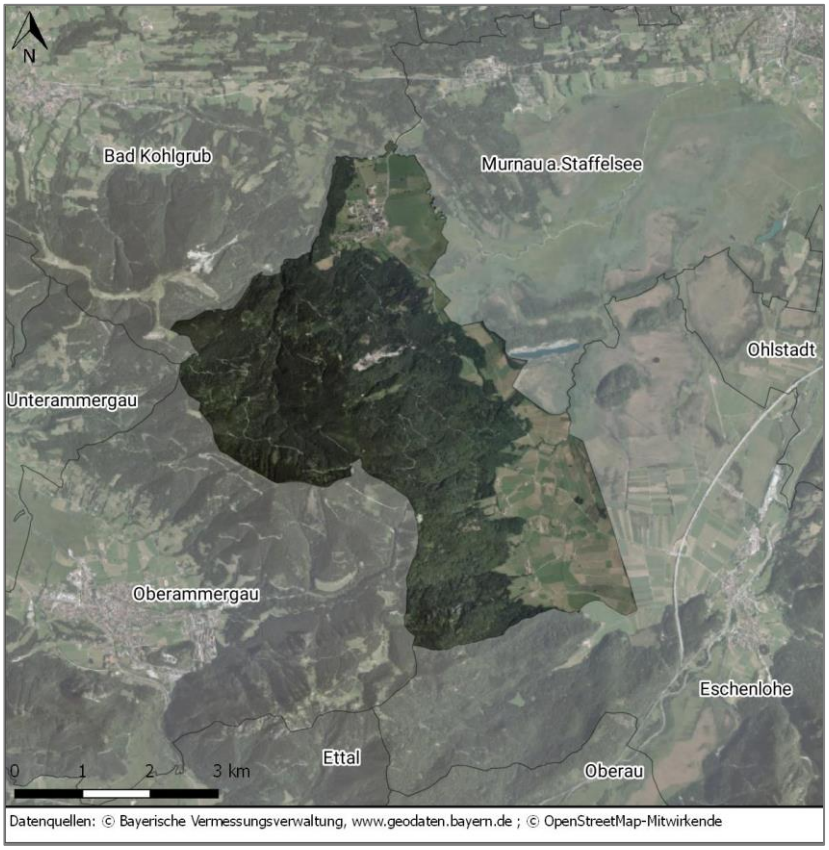


Abbildung 1-1: Übersicht des Gemeindegebiets von Schwaigen.

Nachbarkommunen von Schwaigen sind Murnau und Eschenlohe sowie Oberammergau und Bad Kohlgrub. Die Gemeinde Schwaigen gehört zur Verwaltungsgemeinschaft Ohlstadt.

1.3 Demographie

Mit Stand vom 31.12.2016 leben in Schwaigen 626 Einwohner (EW). In Abbildung 1-2 ist die Bevölkerungsentwicklung seit 1960 abgebildet. Vor allem zwischen 1970 und 1990 hat ein starker Zuwachs stattgefunden. Seit dem Jahr 2000 sind die Zahlen leicht rückläufig (LfStat 2018b). Das Landesamt für Statistik geht bis zum Jahr 2035 von einer Bevölkerungszunahme um 4,7 % für den gesamten Landkreis Garmisch-Partenkirchen aus. Für Schwaigen würde diese Annahme einen Anstieg der Bevölkerung auf 647 Personen im Jahr 2035 bedeuten (LfStat 2017). Bei der Entwicklung von Szenarien, beispielsweise zu möglichen Energieverbrauchsentwicklungen, ist es wichtig, den zu erwartenden Bevölkerungszuwachs zu berücksichtigen.

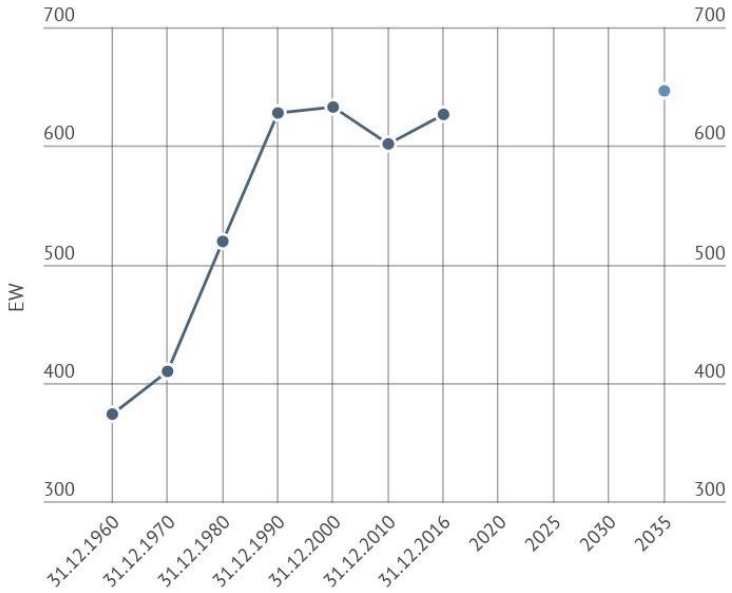


Abbildung 1-2: Entwicklung der Bevölkerungszahl in Schwaigen von 1960-2016 und Vorausberechnung für den 31.12.2035 (LfStat 2017, 2018b).

Auch bei der Bevölkerungsentwicklung nach Altersgruppen kann beim Vergleich der Jahre 1987 und 2016 ein Wandel festgestellt werden. Aus Abbildung 1-3 ist zu erkennen, dass die Altersgruppen unter 30 Jahre abgenommen und die Altersgruppen älter als 30 Jahre zugenommen haben. Vor allem die Altersgruppen ab 50 + sind stark gewachsen.

Der demographische Wandel steht zwar in keinem unmittelbaren Zusammenhang zum Energieverbrauch, allerdings verändern sich möglicherweise die Zielaltersgruppen für Kampagnen oder aber auch das Entscheidungsverhalten bei Haussanierungen oder beim Einsatz neuer Technologien.

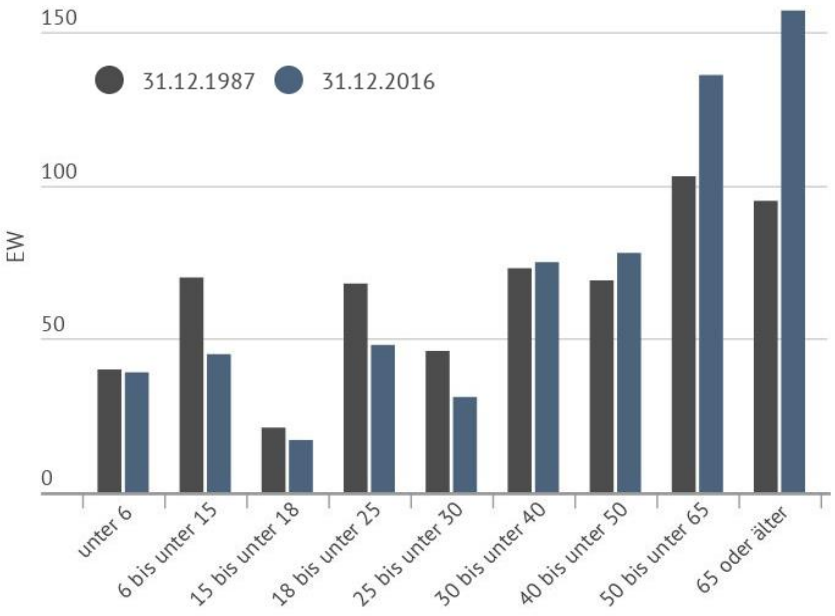


Abbildung 1-3: Bevölkerungsentwicklung (1987 vs. 2016) nach Altersgruppen in Schwaigen (LfStat 2017c).

1.4 Wirtschaft und Flächennutzung

In Schwaigen sind 191 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte gemeldet, wobei die Mehrheit der Beschäftigten zu ihrer Arbeitsstätte auspendeln (LfStat 2018f). Die Mehrheit der Beschäftigten ist im Dienstleistungssektor beschäftigt, gefolgt von Handel/Gastgewerbe und produzierendem Gewerbe (LfStat 2018f).

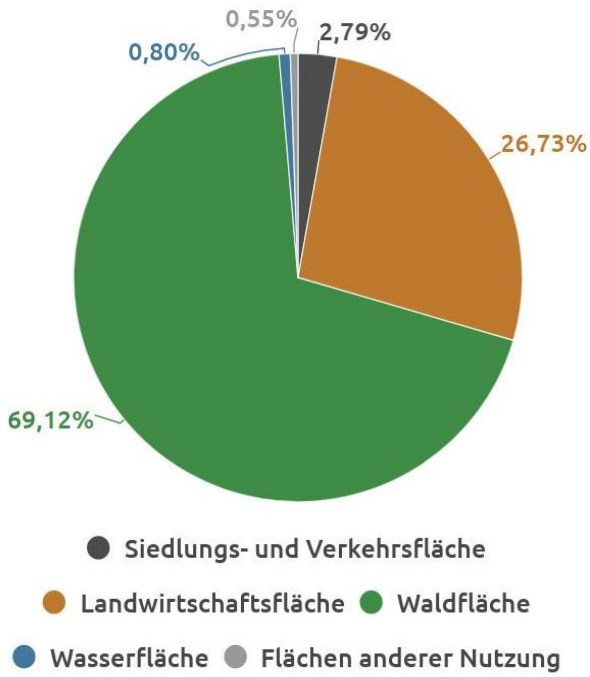


Abbildung 1-4: Übersicht der Flächennutzung in Schwaigen (LfStat 2018a).

Wird die gesamte Flächennutzung in Schwaigen (siehe Abbildung 1-4) betrachtet, so zeigt sich, dass diese insbesondere durch Wald- und Landwirtschaftsflächen dominiert wird. Zusammen machen diese über 95 % der gesamten Gemeindefläche aus. Die Waldfläche in Schwaigen beträgt rund 1630 ha., Siedlungs- und Verkehrsflächen nehmen dagegen nur etwa 3 % (66 ha) der Gesamtfläche von Schwaigen ein (LfStat 2018a).

Zu den kommunalen Liegenschaften zählen neben dem neu gebauten Dorfladen der Kindergarten, die Feuerwehr und die Mehrzweckhalle. Damit ergeben sich energetische Handlungsmöglichkeiten, welche im unmittelbaren Wirkungsbereich der

Gemeinde liegen. Den kommunalen Liegenschaften wird deshalb bei der Erstellung des Energienutzungsplanes ein besonderes Augenmerk geschenkt. Die Gemeinde hat dort die Umsetzung selbst in der Hand und kann als Vorbild voranschreiten. Ein Blick auf die Entwicklung der Wohnbebauung in Schwaigen verdeutlicht (Abbildung 1-5), dass sich in den letzten Jahrzehnten neben der Anzahl der Wohngebäude und der Wohnfläche auch die Wohnfläche pro Einwohner deutlich erhöht hat. Dies entspricht auch dem bundesdeutschen Trend (Statistisches Bundesamt 2016) und ist auf eine Zunahme der Einpersonenhaushalte zurückzuführen sowie auf die zunehmende Versorgung mit Eigenheimen in Verbindung mit der Tendenz, diese auch im Alter bei schrumpfender Haushaltsgröße beizubehalten. Unter Annahme einer weiter steigenden Bevölkerungszahl ist ebenso mit einer weiteren Zunahme des Verhältnisses der Wohnfläche zur Einwohnerzahl auszugehen. Prinzipiell ist mit dieser Zunahme auch eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs pro Einwohner (EW) verbunden. Heute existieren in Schwaigen insgesamt 165 Wohngebäude mit einer Gesamtwohnfläche von über 28.667 m² (LfStat 2018c). Diese Größen sind für den Energienutzungsplan Schwaigen insbesondere bei der Ermittlung von Einsparmöglichkeiten im Wärmebereich relevant.

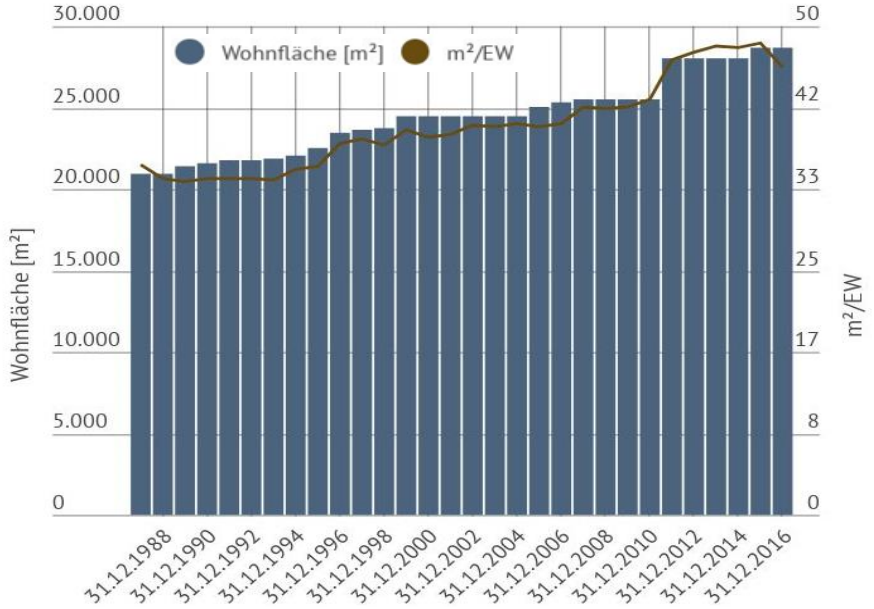


Abbildung 1-5: Entwicklung der Wohnfläche in Schwaigen seit 1987 (LfStat 2018c).

1.5 Natur und Landschaftsschutz

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

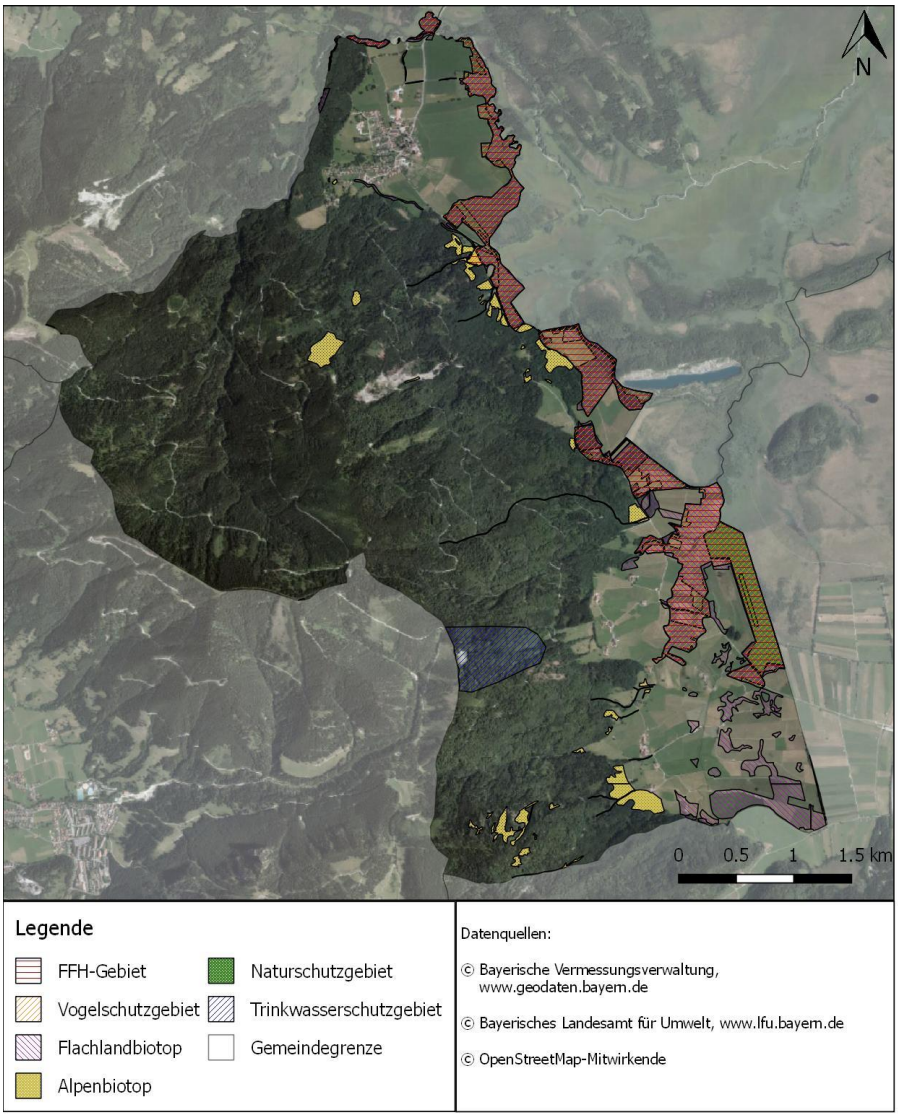


Abbildung 1-6: Darstellung aller Schutzgebietskategorien in Schwaigen.

Der Naturraum der Gemeinde Schwaigen ist geprägt durch großflächige, zusammenhängende Wald- und Landwirtschaftsflächen. Insgesamt existieren zudem relativ viele besonders wertvolle und damit schutzwürdige Flächen für den Natur-, Arten- und Wasserschutz.

Eine Übersicht über die Lage aller Schutzgebiete ist in Abbildung 1-6 kartographisch dargestellt. Flächenmäßig am bedeutendsten sind Flachlandbiotope sowie das FFH- und Vogelschutzgebiet, welche sich an der östlichen Gemeindegrenze entlang ziehen und zum FFH- bzw. Vogelschutzgebiet Murnauer Moos gehören. Genauso ist ein kleiner Teil des ebenfalls zum Murnauer Moos gehörigen Naturschutzgebietes im Osten der Gemeinde auf der Flur von Schwaigen. Darüber hinaus sind über das Gemeindegebiet verteilt einige kleinere Alpenbiotopflächen ausgewiesen. Am Osthang des Schwaiger Bergs befindet sich außerdem ein 34,5 ha großes Trinkwasserschutzgebiet.

Details zu den jeweiligen Flächenrestriktionen für Energieerzeugungsanlagen und Energieinfrastruktur in den rechtsverbindlichen Schutzgebietskategorien sind in den einzelnen Kapiteln zu den regenerativen Energieerzeugungspotenzialen beschrieben.

1.6 Klima

Die klimatischen Rahmenbedingungen haben entscheidenden Einfluss auf den Heizenergiebedarf jeder Kommune sowie auf die meisten Potenziale für erneuerbare Energien, wie z.B. Sonne, Wind und Bioenergie. Im Folgenden werden deshalb die für den vorliegenden Energienutzungsplan wichtigsten Klimadaten und projizierten Klimaveränderungen dargestellt. Dafür wurden zunächst die Daten der am nächsten gelegenen Klimastation in Bad Tölz ausgewertet. Hier liegt das langjährige Mittel der Lufttemperatur bei 7,5 °C (Bad Tölz 2017). Im Vergleich zum deutschen Mittel (9,3 °C) muss in Schwaigen entsprechend der Lage am Alpenrand mit einem etwas höheren Heizenergiebedarf gerechnet werden. Im Vergleich zur Messdatenreihe der Jahre 1961 bis 1990 kann zudem ein Trend in Richtung höherer Jahresmitteltemperatur (8 °C) festgestellt werden (Bad Tölz 2017). Den Trend zu höheren Temperaturen belegen auch die langjährigen Messungen an der nächst gelegenen Klimastation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) am Hohen Peißenberg (Abbildung 1-7). Bereits heute beträgt hier die gemessene Temperaturzunahme (1951-1980 vs. 1981-2010) + 0,9 °C. Die klimawandelbedingte Temperaturerhöhung lässt sich somit bereits heute auch im Oberland messtechnisch nachweisen.

Die Sonnenscheindauer in den besiedelten Gebieten beträgt in Schwaigen im Mittel und je nach Lage etwa 1.300 - 1.600 h/a, das Jahresmittel der Globalstrahlung beträgt dementsprechend 1.100 – 1.150 kWh/m² (BMWI 2018).

Bedingt durch häufige Nordstaulagen sind in Schwaigen die Jahresniederschlagsmengen mit einem langjährigen Mittel von 1.500 mm pro Jahr insgesamt überdurchschnittlich hoch. Aus regionalen Messdaten können derzeit noch keine signifikanten Veränderungen bei den Niederschlagsmengen festgestellt werden. Die neuesten Klimaforschungsergebnisse aus der Region gehen für die nächsten Jahrzehnte allerdings von einem Anstieg der Niederschläge um 100 bis 150 mm/a aus (LMU München 2011).

Im Allgemeinen ist in Folge des Klimawandels in Zukunft mit länger anhaltenden Wetterlagen und einer Zunahme von Extremereignissen zu rechnen. Diese können sich beispielsweise in Form von Dürre, Starkniederschlägen oder Überschwemmungen auswirken und in weiterer Folge andere Prozesse, wie zum Beispiel Murabgänge, verursachen.

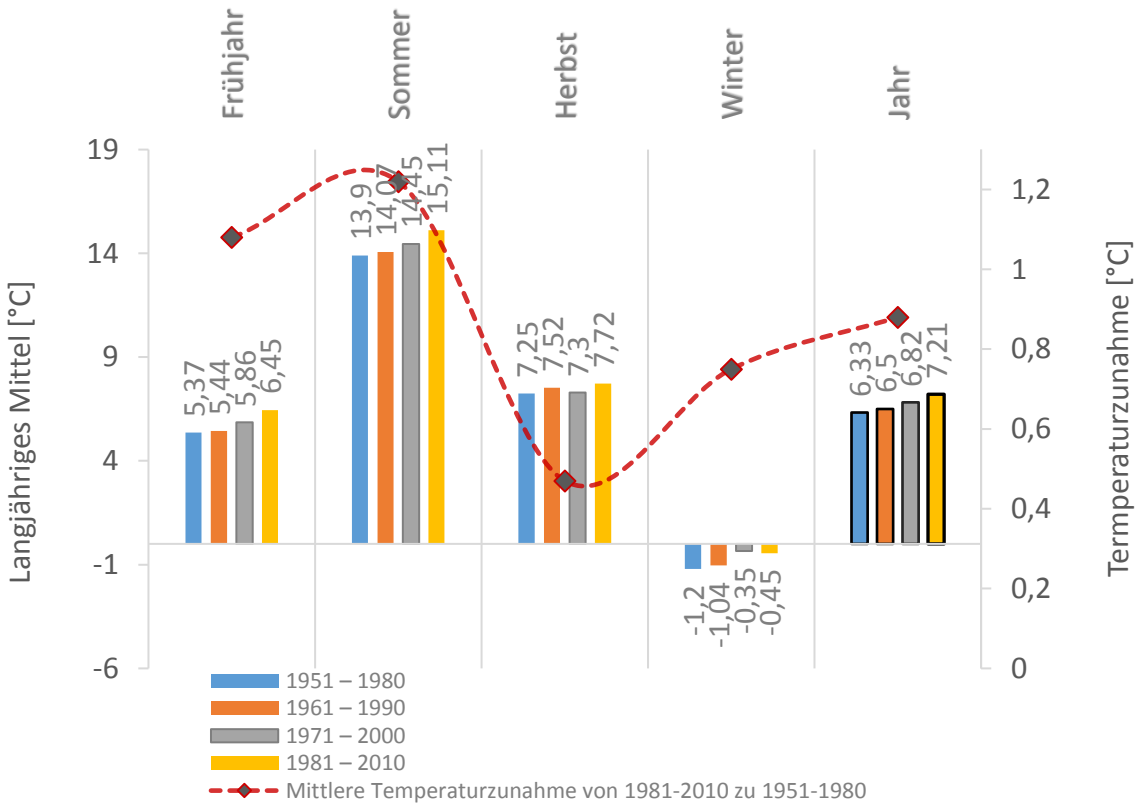


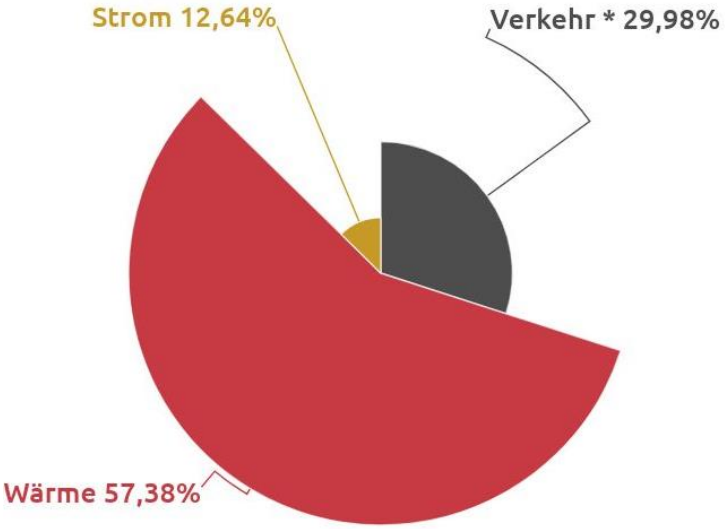
Abbildung 1-7: Klimaveränderungen im Oberland dargestellt anhand langjähriger Klimaveränderungen gemessen am meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg (DWD 2018).

2. Bestandsanalyse

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

Die Darstellung der Energieverbräuche nach Nutzungsart in Abbildung 2-1 gibt einen ersten Überblick welche Anteile Strom, Wärme und Treibstoffe am Endenergieverbrauch in Schwaigen haben. Dies ist eine wichtige Grundlage für die Priorisierung von Maßnahmen, welche anschließend in die Konzeptentwicklung einfließt. Die folgende Bestandsanalyse bezieht sich dabei stets auf Endenergieverbräuche bzw. die Bereitstellung von Endenergie.

Es wird deutlich, dass in Summe in Schwaigen mit rund 57 % mit Abstand am meisten Endenergie zur Bereitstellung von Wärme benötigt wird. Ein Anteil von 30 % am Gesamtenergiebedarf ist dem Sektor Verkehr durch den Verbrauch von Treibstoffen (Benzin und Diesel) zuzuordnen. Die verbleibenden 13 % entfallen auf den Verbrauch elektrischer Energie.



** nur motorisierter Individualverkehr bilanziert nach Kraftfahrzeugbestand Schwaigen (KBA 2017).*

Abbildung 2-1: Energieverbrauch nach Sektoren: Mobilität, Strom, Wärme.

*Als **Endenergie** wird derjenige Teil der ursprünglich eingesetzten Primärenergie bezeichnet, der vom Verbraucher abzüglich der Transport- und Umwandlungsverluste genutzt werden kann.*

Zum Beispiel werden folgende Energiemengen als Endenergie bezeichnet:
Strom aus der Steckdose für Elektrogeräte oder Beleuchtung, Erdgas oder Holzpellets für Heizungsanlagen oder Biogas aus einer Biogasanlage für Heizungsanlagen.

*Dem Endverbraucher steht schließlich die **Nutzenergie** beispielsweise in Form von Beleuchtung, Raumheizwärme oder Prozesswärme zur Verfügung.*

Aus Abbildung 2-2 wird zudem deutlich, dass die Privaten Haushalte mit 56 % die Hauptverbraucher von Wärme und Strom sind. Rund 12 % entfallen auf Gewerbebetriebe und mit knapp 2 % nur ein geringer Anteil auf die kommunalen Liegenschaften. Bei einem gleichbleibenden Anstieg des motorisierten Individualverkehrs ist davon auszugehen, dass sich in Schwaigen der verkehrsbedingte Anteil am Endenergieverbrauch entsprechend erhöhen wird. Mit Stand vom 01.01.2017 waren in der Gemeinde Schwaigen 351 PKWs gemeldet, die insgesamt 3.456 MWh Energie verbrauchten. Neben der Verkehrsvermeidung ist E-Mobilität derzeit eine vielversprechende Option den verkehrsbedingten Ausstoß von Treibhausgasen, Stickoxiden und Feinstaub zu reduzieren, sofern der Strom für die E-Fahrzeuge aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Weitergehende Analysen und Konzeptentwicklungen im Bereich Verkehr können durch die Erstellung von Mobilitätskonzepten erfolgen. Abgesehen von E-Mobilität in direkter Verbindung mit erneuerbaren Energien ist Mobilität nicht Teil dieses Energienutzungsplanes.

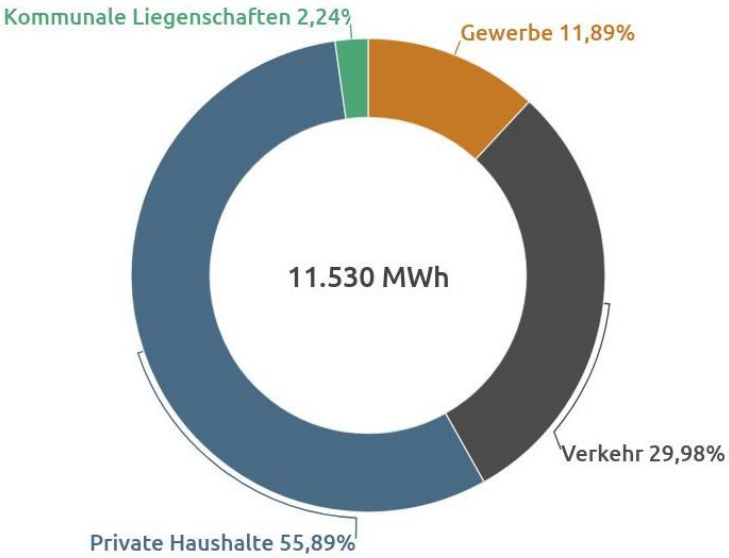


Abbildung 2-2: Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren.

2.1 Strom

Die aktuellsten Zahlen zum Netzabsatz in Schwaigen liegen für das Jahr 2016 vor. Demnach beläuft sich der Gesamtnetzabsatz insgesamt auf 1.457,8 MWh (Bayernwerk AG 2019a), was einem Netzabsatz von 2.329 kWh pro Einwohner (EW) entspricht. Der pro Kopf Verbrauch ist damit in Schwaigen verhältnismäßig niedrig, was vor allem auf die geringe Anzahl stromintensiver Betriebe in Schwaigen zurückzuführen ist. Gelingt der von der Bundesregierung im Sektor Verkehr angestrebte Umstieg vom Verbrennungs- zum E-Motor, muss perspektivisch mit einem steigenden Stromverbrauch gerechnet werden.

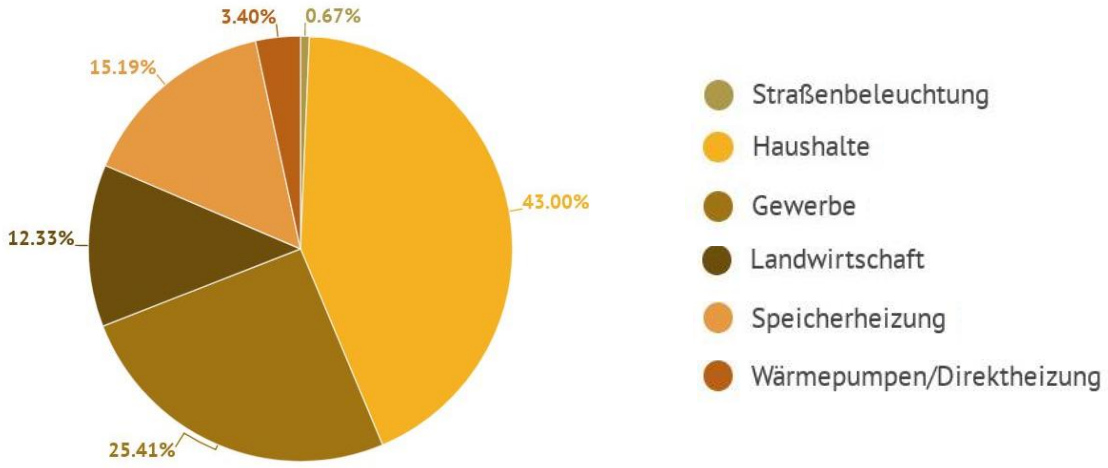


Abbildung 2-3: Aufteilung des Netzabsatzes in Schwaigen nach Sektoren im Jahr 2016 (Bayernwerk AG 2018a).

In Abbildung 2-3 ist der Stromverbrauch nach Sektoren dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass mit 43 % der größte Teil auf private Haushalte entfällt, gefolgt von Landwirtschaft und Gewerbe, welche zusammen über 37 % des Gesamtnetzabsatzes verbrauchen. Ebenso wird deutlich, dass ein beachtlicher Teil des Stromverbrauchs für den Betrieb von Speicherheizungen (15 %) sowie Wärmepumpen und Direktheizungen (3 %) verwendet wird.

Anzumerken ist, dass der Gesamtnetzabsatz genau genommen nicht mit dem Gesamtstromverbrauch gleichzusetzen ist, da dieser aufgrund des nicht erfassten Eigenverbrauchs von selbsterzeugtem Strom höher anzusetzen ist. Im Jahr 2016 wurden in der Gemeinde Schwaigen 317,2 MWh Strom durch Photovoltaik (PV) erzeugt und ins Netz eingespeist (Bayernwerk AG 2019b).

Derzeit wird nur durch Photovoltaik regenerativer Strom in Schwaigen produziert. Insgesamt erzielen die PV-Anlagen einen Deckungsanteil von rund 22 % des Gesamtstromverbrauchs von 1.458 MWh (Abbildung 2-4). Witterungsbedingt sowie aufgrund der tages- und jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Sonneneinstrahlung kann dieser Deckungsgrad stark variieren.

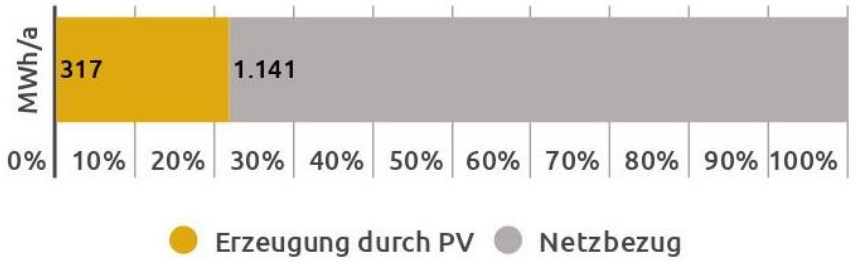


Abbildung 2-4: Gegenüberstellung von Stromverbrauch und -erzeugung (Bayernwerk AG 2019a, 2019b).

Zur räumlichen Verordnung der regenerativen Stromerzeugungsanlagen wurden zusätzlich die nach dem EEG-Anlagenregister veröffentlichten Zahlen der Bundesnetzagentur über die Einspeisung von regenerativen Stromquellen herangezogen (Abbildung 2-5). In diesem Register wurden bis 2015 alle Anlagen mit EEG-Vergütung adressgenau erfasst.

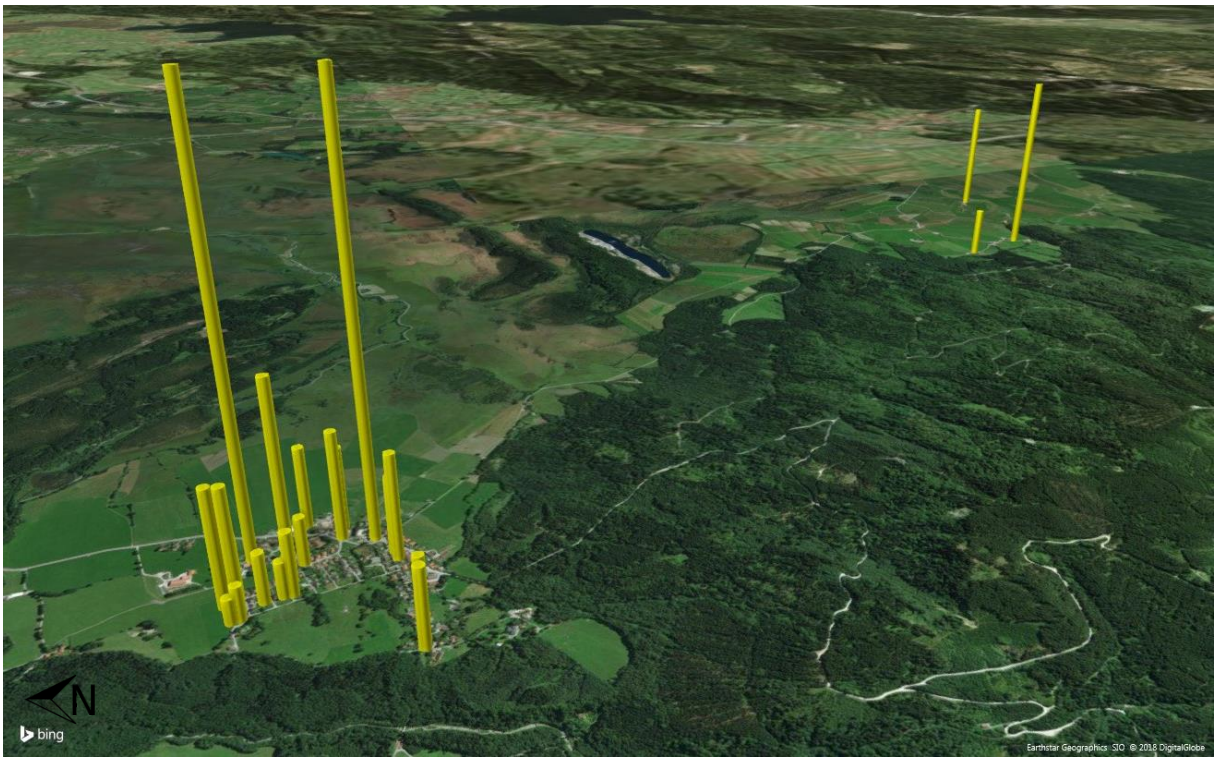


Abbildung 2-5: Räumliche Darstellung der bestehenden erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen (Strom) in Schwaigen. Die Größe der Balken orientiert sich an der installierten Anlagenleistung. Kartenbasis: © OpenstreetMap.

2.2 Wärme

58 % des Endenergieverbrauchs in Schwaigen fallen zur Deckung des Wärmebedarfs an (Abbildung 2-1). Die Nutzwärmesumme beträgt in Schwaigen gut 5.730 MWh pro Jahr. Bezogen auf die Endenergie ist der Wärmebedarf damit mehr als vier Mal so hoch als der Endenergieverbrauch in Form von Strom (1.458 MWh). Diese Zahlen führen deutlich vor Augen, dass für eine erfolgreiche Energiewende entscheidend ist, den benötigten Wärmebedarf erheblich zu reduzieren und den verbleibenden Anteil durch erneuerbare Energien zu decken.

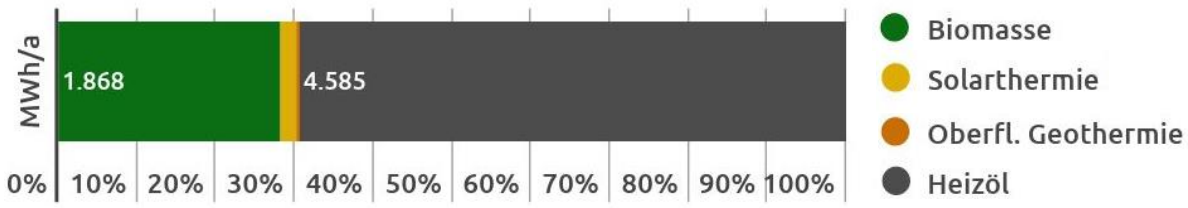


Abbildung 2-6: Ermittelter Energiemix Wärme (Endenergie) in Schwaigen (2016).

Im Jahr 2016 wurden 30,7 % des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien bereitgestellt. Mit mehr als 93 % trägt davon die Biomasse in Form von Holzpellets, Hackschnitzeln und Scheitholz bei (Abbildung 2-6). 21 Zentralheizungskessel mit einer gesamten Nennleistung von 701 kW werden mindestens betrieben. Ein kleines privat betriebenes Wärmenetz mit vier Abnehmern, welches Heizenergie aus Hackschnitzeln erzeugt, besteht bereits. Zusätzlich tragen zahlreiche Einzelfeuerstätten zur Verringerung des Ölbedarfs bei. Rund 6 % (das entspricht 124 MWh) der regenerativ erzeugten Energie werden durch Solarthermie erzeugt. Oberflächennahe Geothermie macht mit nur 0,5 % bisher nur einen kleinen Anteil an der regenerativen Wärmeerzeugung aus. Der verbleibende Anteil des Wärmebedarfs wird mehrheitlich durch Heizöl gedeckt (4.689 MWh bzw. 69,9 %). Eine Erdgasleitung ist in Schwaigen nicht verlegt. Das Erdgasversorgungsnetz reicht bis in die Nachbarkommunen Murnau und Eschenlohe.

2.3 Gebäudebestand und Wärmekataster

Kenntnisse über den Gebäudebestand und ein gebäudescharfes Wärmekataster sind eine wesentliche Grundlage des vorliegenden Energienutzungsplans. Die Energiebilanzen und die Ermittlung der Potenziale, sowohl zur Erzeugung erneuerbarer Energien als auch zur Energieeinsparung durch energetische Gebäudesanierung, basieren darauf. Zudem dient das Wärmekataster als Basis für die Entwicklung möglicher Umsetzungsprojekte, wie beispielsweise einer Wärmeverbundlösung.

Abbildung 2-7: Ausschnitt des LoD2-Gebäudemodells in Schwaigen-Grafenaschau (Basiskarte: OpenStreetMap.org).

Für den Ortsteil Grafenaschau wurde ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt. Mit Hilfe des 3D-Gebäudemodells der bayerischen Vermessungsverwaltung (LoD2) (Abbildung 2-7), Informationen über die Gebäudenutzung und der Baualtersstruktur wurde entsprechend dem „Leitfaden Energienutzungsplan“ (StMUG u. a. 2011) für jedes Bestandsgebäude der spezifische Jahreswärmebedarf ermittelt. Dieser setzt sich zusammen aus dem jeweiligen Heiz- und Warmwasserbedarf.

Ausgehend vom gebäudescharfen Wärmeverbrauch wurde anschließend unter Einbezug des Flächennutzungsplans und der Flurkarte eine Wärmedichtekarte erstellt, welche den Jahreswärmebedarf mehrerer Gebäude zusammenfasst (Abbildung 2-8). Durch die Darstellung des Wärmebedarfs in Megawattstunden pro Hektar und Jahr wird deutlich, in welchen Gebieten ein hoher Wärmebedarf besteht und daher eine Überprüfung der Möglichkeiten von Wärmenetzen sinnvoll sein kann.

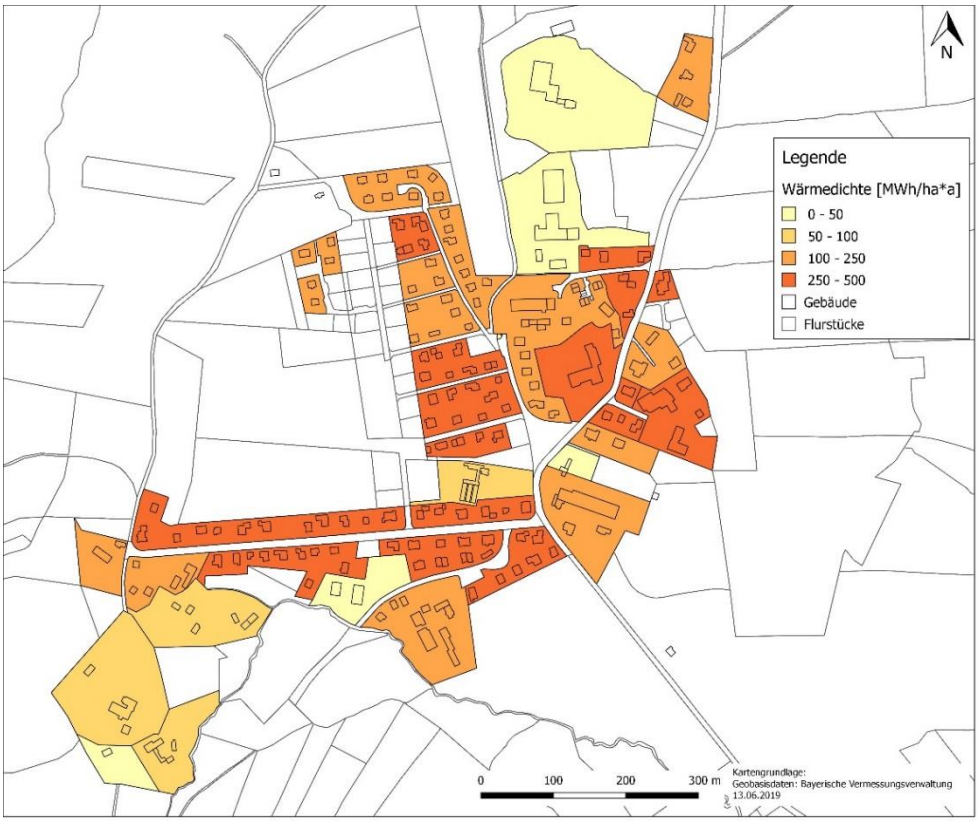


Abbildung 2-8: Wärmedichtekarte Schwaigen-Grafenaschau [MWh/(ha*a)].

2.4 Kommunale Liegenschaften – Energie-Benchmarking

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

Energie-Benchmarking ist dabei ein wirkungsvolles Instrument, um Schwachstellen und Optimierungspotenziale bei Energieversorgung und –verbrauch von Gebäuden zu identifizieren. Dabei werden die Energieverbräuche von Gebäuden mit gleicher Nutzungsart miteinander verglichen, z.B. Schulen, Turnhallen, Rathäuser, Kindertagesstätten, um ggf. Abweichungen festzustellen. Da der Energieverbrauch neben der Nutzungsart maßgeblich von der Gebäudegröße abhängig ist, wird ein Kennwert gebildet, indem der Energieverbrauch getrennt nach Energieträger jeweils auf den Quadratmeter Nettogeschoßfläche bezogen wird. Danach wird dieser spezifische Kennwert dem Vergleichswert der Deutschen Energieagentur dena nach EnEV 2009 bzw. 2014 gegenübergestellt. Der dena-Vergleichswert berücksichtigt ebenfalls unterschiedliche Nutzungsarten der Liegenschaften.

Auf Basis dieser Auswertung für die Gemeindeliegenschaften wurden im Anschluss Begehungen durchgeführt, um die Schwachstellen vor Ort zu analysieren und darauf aufbauend Optimierungsmaßnahmen zu entwickeln. Diese sind bei den Maßnahmenvorschlägen zu den Liegenschaften der Gemeinde im Detail beschrieben (siehe Kapitel 5).

2.4.1 Gesamter und spezifischer Heizenergieverbrauch

Zunächst wurde die Zusammensetzung des Energieträger-Mixes zur Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser analysiert. Hier ist das Ziel einen möglichst hohen Anteil durch regenerative Energien abzudecken. Weiter wurde aus den spezifischen Verbrauchswerten das Handlungspotenzial zur Minimierung von erhöhten Energieverbräuchen abgeleitet.

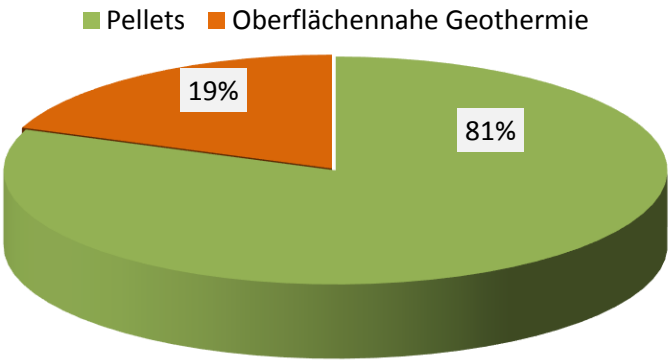


Abbildung 2-9: Anteil der Energieträger am gesamten Heizwärmeverbrauch kommunaler Liegenschaften 2016/17.

Die Anteile der Energieträger am Energieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung der kommunalen Liegenschaften setzten sich in den Jahren 2016 bis 2018 wie in Abbildung 2-9 dargestellt zusammen. Der Wärmebedarf der kommunalen Liegenschaften wird bereits zu 100 % aus erneuerbaren Energieträgern gedeckt. Dabei wird für das Rathaus, in welchem sich im Erdgeschoß auch der Kindergarten befindet, die Wärme mit einer Wärmepumpe bereitgestellt. Die restlichen Liegenschaften werden mit Holzpellets beheizt.

Bei der Betrachtung des spezifischen, auf die Nettogeschoßfläche bezogenen Energieverbrauchs, erfolgte zuvor eine Witterungsbereinigung, um jährliche Witterungsschwankungen auszugleichen. Überdurchschnittlich warme oder kalte Heizperioden werden dabei über einen Faktor an das langjährige Durchschnittsklima des Standorts angepasst. So sind die Jahresverbräuche besser zu vergleichen und Abweichungen durch Witterungsbedingungen weitgehend ausgeschlossen. Die Auswertung in Abbildung 2-10 zeigt die Abweichungen von den dena-Verbrauchskennwerten.

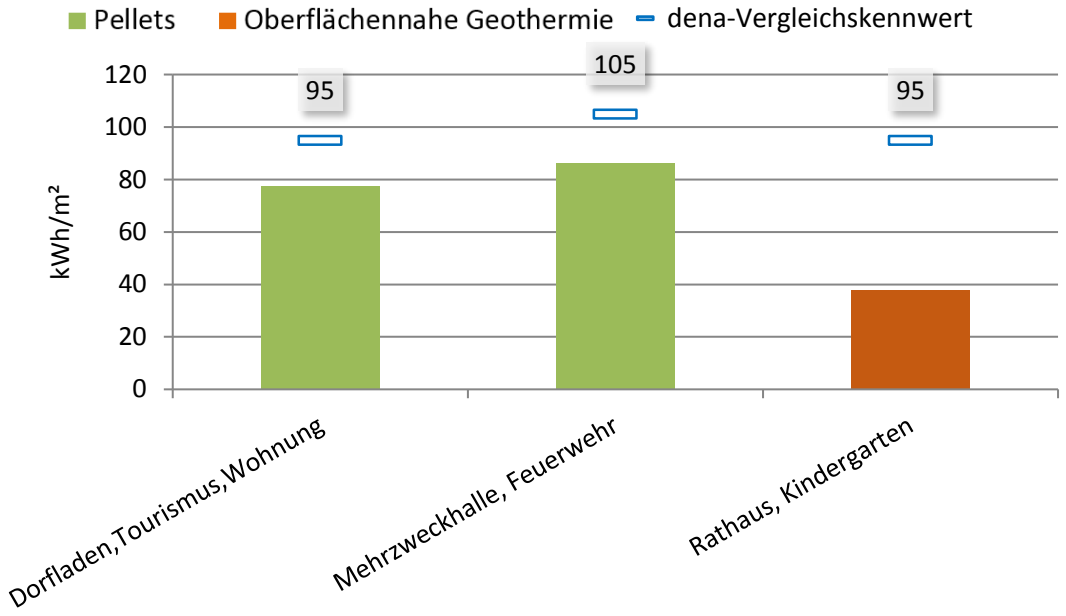


Abbildung 2-10: Spezifischer Heizenergieverbrauch (witterungsbereinigt) der kommunalen Liegenschaften im Vergleich zum dena-Verbrauchskennwert.

Es wird deutlich, dass vor allem das Rathaus mit Kindergarten einen deutlich geringeren Wärmebedarf aufweist als der Vergleichskennwert angibt. Aber auch der Dorfladen, in welchem zudem die Touristeninformation und eine Wohnung untergebracht sind, als auch Mehrzweckhalle und Feuerwehr verbrauchen weniger als der Durchschnittswert dieser Gebäudekategorien.

2.4.2 Spezifischer Stromverbrauch

Die Benchmarking-Auswertung des Stromverbrauches der kommunalen Liegenschaften sind in Abbildung 2-11 dargestellt. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass es sich bei den dena-Verbrauchskennwerten lediglich um Durchschnittswerte bestehender Gebäude handelt. Ein Zielwert von 10 kWh/m²*a für alle Gebäudearten ist erreichbar und für die kommunalen Liegenschaften der Gemeinde anzustreben. Die spezifischen Stromverbräuche von Kindergarten, Mehrzweckhalle und Dorfladen liegen deutlich unter den dena-Verbrauchskennwerten, die des Rathauses und der Touristeninformation befinden sich im durchschnittlichen Bereich. Die Stromverbräuche der Wasser- und Abwasseranlagen sowie von Leichenhaus und Straßenbeleuchtung sind gesondert in Abbildung 2-12 dargestellt.

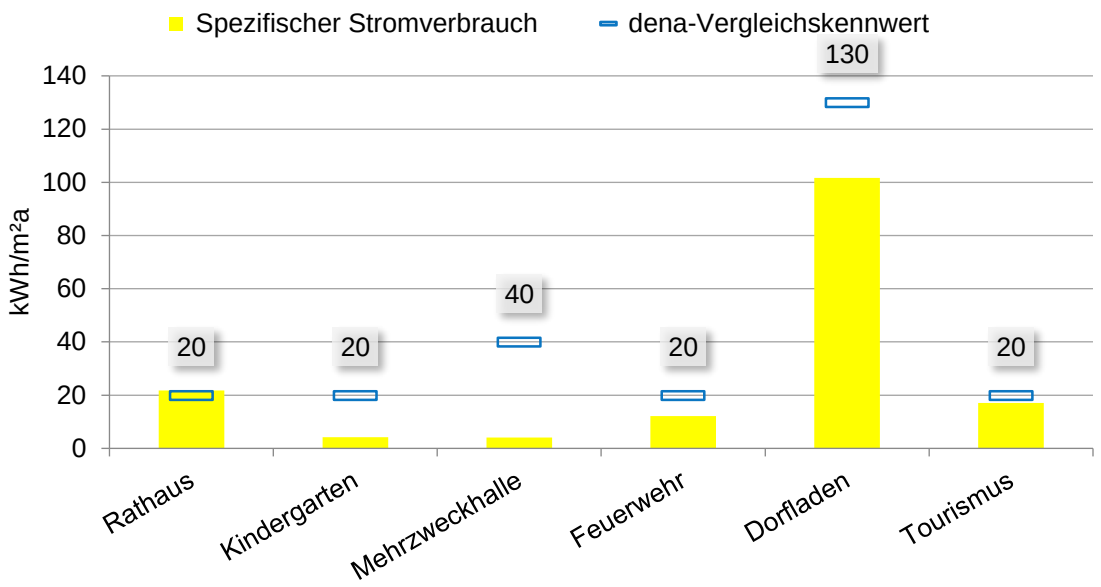


Abbildung 2-11: Spezifischer Stromverbrauch kommunaler Liegenschaften im Vergleich zum DENA-Verbrauchskennwert.

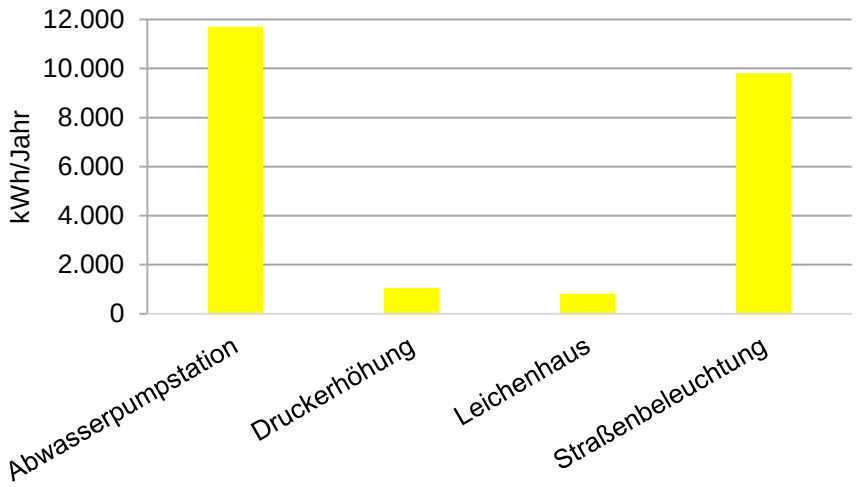


Abbildung 2-12: Spezifischer Stromverbrauch von Wasser-/ Abwasseranlagen, Leichenhaus und Straßenbeleuchtung in Schwaigen.

2.5 Primärenergiebedarf

Als Primärenergien werden alle Energiearten bezeichnet, die von der Natur bereitgestellt und durch verschiedene Technologien nutzbar gemacht werden. Somit enthält sie neben dem Endenergiebedarf auch alle Vorketten wie beispielsweise Gewinnung, Lagerung und Transport der Energieträger. Als Primärenergieträger gelten sowohl Stoffe (z.B. Kohle, Mineralöl, Energieholz) als auch Prozesse (z.B. Sonnenstrahlung, Windkraft, Wasserkraft). Durch die Darstellung des Primärenergieverbrauchs wird deutlich, wie viel Energie nötig ist, um den gesamten Energiebedarf zu decken und in Form von Endenergie nutzbar zu machen. Damit gibt sie die Energieeffizienz wider, welche nicht nur abhängig ist von der

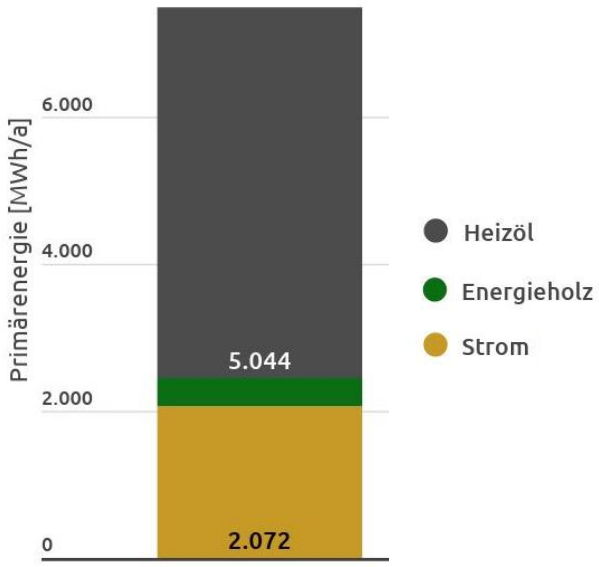


Abbildung 2-13: Primärenergiebilanz nach Energieträgern in der Gemeinde Schwaigen.

Effizienz im Verbrauch und in der Energieerzeugung, sondern auch vom Einsatz erneuerbarer Energien. Der benötigte Primärenergiebedarf wird ermittelt aus dem Produkt der erforderlichen Endenergie und dem zum jeweiligen Energieträger zugehörigen nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergiefaktors. Die Berechnung erfolgt auf Basis des Heizwertes H_i[16] der verwendeten Energieträger. Datengrundlage ist die DIN V 18599-1 (BDEW 2015).

Eine Aufstellung des Primärenergiebedarfs in Schwaigen nach Energieträgern und den zugehörigen Primärenergiefaktoren findet sich in Tabelle 2-1. Es wird klar ersichtlich, dass die nicht erneuerbaren Energieträger Heizöl und Strom (Bundesstrommix) die größten Anteile des Primärenergiebedarfs ausmachen. Den geringsten Anteil trägt der erneuerbare Energieträger Holz bei (Abbildung 2-13).

Tabelle 2-1: Primärenergiebedarf in Schwaigen nach Energieträgern und zugehörige Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12.

	Energieträger	Primärenergie [MWh]	Primärenergiefaktor
STROM	Photovoltaik	0	0,0
	Netzbezug (Bundesstrommix)	2.072	1,8
WÄRME	Energieholz	374	0,2
	Solarthermie	0	0
	Oberflächennahe Geothermie	durch Strom bereits bilanziert	
	Heizöl	5.158	1,1

2.6 CO_2-Bilanz

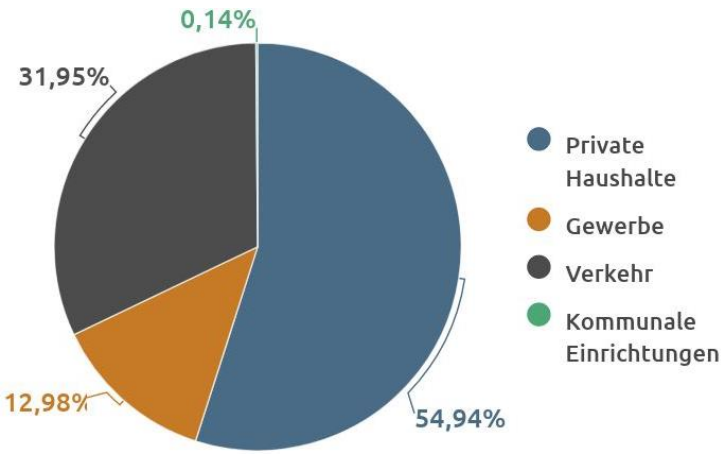


Abbildung 2-14: CO2-Bilanz nach Verbrauchssektoren.

Die vorliegende CO_2-Bilanz wurde auf Basis der erhobenen Strom- und Wärmeverbräuche sowie dem Kraftfahrzeugbestand (KBA 2017) erstellt. Die Berechnung der CO_2-Äquivalente erfolgte mit Hilfe der in Tabelle 2-2 aufgelisteten CO_2-Emissionsfaktoren.

Insgesamt entsteht durch den Energieverbrauch in Schwaigen ein CO_2-Ausstoß von 2.958 t.

Betrachtet man nur den Strom- und Wärmebedarf, so ergeben sich **2.013 t CO_2,** was einen pro-Kopf Ausstoß von 3,4 t CO_2 pro Jahr bedeutet.

Die größten CO_2-Emittenten im Bereich Wärme und Strom sind gemäß der oben dargestellten Endenergiebilanz mit 55 % die Privaten Haushalte. Die Gewerbebetriebe tragen zu 13 % bei. Durch den Bezug von Ökostrom und den Einsatz von Wärmepumpen bzw. Holzpellets zur Wärmebereitstellung in den kommunalen Liegenschaften entfallen auf diese lediglich 0,1 % des CO_2-Ausstoßes (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tabelle 2-2: CO_2-Äquivalente der jeweiligen Energieträger (kea 2016; Umweltbundesamt 2018).

Energieträger	Emissionsfaktor [kg/MWh]
Strom - Bundesstrommix	527
Strom - Ökostrom	0
Erdgas	250
Heizöl	320
Stückholz	19
Hackschnitzel	24
Holzpellets	27

2.7 Vergleichende Betrachtung

Um die Größen der Endenergie- und CO_2-Bilanz der Gemeinde Schwaigen besser einordnen zu können, werden diese in Tabelle 2-3 mit den Kennwerten des Landkreises Garmisch-Partenkirchen sowie den bundesdeutschen Durchschnittswerten gegenübergestellt.

Dabei fällt auf, dass der Strom- und Endenergieverbrauch pro Kopf deutlich unter den Durchschnittswerten des Landkreises und Deutschlands liegen. Dies kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass in Schwaigen keine energieintensiven Betriebe angesiedelt sind. Daraus resultierend ist auch der CO_2-Ausstoß pro Kopf deutlich niedriger als die Vergleichswerte. Positiv auf die CO_2-Bilanz wirkt sich zudem der relativ große Anteil an Biomasse an der Wärmeerzeugung aus.

Tabelle 2-3: Einwohnerspezifischer Vergleich der Endenergie- und CO_2-Bilanz (Bayernwerk AG 2018a; LfStat 2018a, B.A.U.M Consult GmbH 2012; Burger 2018).

Indikator	Einheit	Schwaigen	Landkreis Garmisch-Partenkichen	Deutschland
Stromverbrauch pro Kopf	kWh/EW	**2.329**	3.901	6.280
Endenergieverbrauch pro Kopf	kWh/EW	**18.539**	25.500	31.296
CO_2 pro Kopf	t/EW	**4,7**	8,9	9,3

3. Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse zeigt auf, welche Möglichkeiten im Gemeindegebiet existieren, um mittels Energieeinsparung, regenerativer Energieerzeugung sowie der Nutzung vorhandener Abwärmequellen das Klimaschutzziel „Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern bis 2035“ zu erreichen. Zusammen mit der in Kapitel 2 erfassten Bestandsanalyse bildet die Potenzialanalyse damit eine wichtige Grundlage zur Erarbeitung einer intelligenten Energiestrategie für Schwaigen.

Da die beste Energie diejenige ist, die wir nicht verbrauchen, werden im ersten Teil der Potenzialanalyse die Möglichkeiten zur Energieeinsparung erhoben.

Wichtig für die Umsetzbarkeit von Energieprojekten ist der Teil des theoretischen Potenzials, welcher technisch realisierbar ist und unter Berücksichtigung von natur- und wasserschutzrechtlichen Vorgaben wirtschaftlich erschlossen werden kann. Da sich langfristig immer technologische Entwicklungen sowie Änderungen der wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen ergeben können, kann der technische Potenzialanteil dagegen auch Jahre nach Erstellung dieses Konzepts noch herangezogen werden.

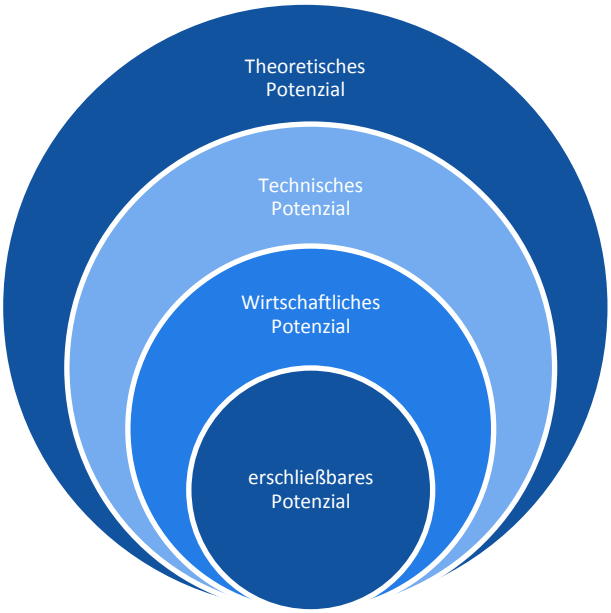


Abbildung 3-1: Übersicht der Betrachtungsebenen von Energiepotenzialen (StMUG u. a. 2011).

3.1 Energieeinsparpotenziale bis 2035

Die Berücksichtigung des Potenzials zur Einsparung von Energie durch ein verantwortungsvolles Verbrauchsverhalten sollte stets an erster Stelle stehen. Von der technischen Sichtweise her erscheint „Energie sparen“ einfach, vergleicht man Energieeinsparmaßnahmen z.B. mit einem hochtechnisierten Biomasseheizkraftwerk. Die vergangenen Jahrzehnte haben jedoch gezeigt, dass es eine große Herausforderung ist, bestehende

Verhaltensmuster nachhaltig zu verändern. Im Gegensatz zur Energieerzeugung ist beim Energieeinsparen die gesamte Bandbreite gesellschaftlicher Akteure gefragt. Unternehmen, Politik, Verwaltungen sowie alle Bürgerinnen und Bürger sind dazu aufgefordert entsprechend Ihrer Möglichkeiten einen sparsamen Energieumgang umzusetzen.

Die kommunale Verwaltung sollte hier mit besonders gutem Beispiel vorangehen und Ihre Möglichkeiten zur Energieeinsparung ausschöpfen, um der Vorbildfunktion der öffentlichen Verwaltung gerecht zu werden. Einige kommunale Gebäude wurden deshalb hinsichtlich ihrer Energieeinsparpotenziale im Detail untersucht (siehe Kapitel 5). Die folgenden beiden Kapitel sollen einen Überblick über die Größenordnungen von energetischen Einsparpotenzialen in Schwaigen geben.

3.1.1 Einsparpotenziale Strom

Sowohl konkrete Versuche in Haushalten in der Region (z.B. „Fischbachau spart Strom“ oder Projekt „Energise“) als auch theoretische Studien (dena 2015; UBA 2017) haben gezeigt, dass das weitere Einsparpotenzial in Haushalten besteht. Eine vollständige Umsetzung dieses Einsparpotenzials setzt eine Verhaltensänderung hin zum sparsameren Einsatz von Energie sowie eine konsequente Umstellung auf energieeffiziente Gerätetechnik voraus.

Trotz vorhandener Einsparpotenziale und steigender Energieeffizienz ist zukünftig mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mit sinkenden Netzabsatz- und Strombedarfsmengen zu rechnen. Betrachtet man die aktuellen Entwicklungen bei der E-Mobilität sowie die Ausbauziele der Bundesregierung, wenn es um die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs geht, ist zukünftig sogar mit großer Wahrscheinlichkeit mit einer Zunahme des Stromverbrauchs zu rechnen. Folgende Beispielrechnung soll verdeutlichen, welche Bedeutung zukünftig E-Mobilität auf die Netzabsatzmengen in Schwaigen haben könnte:

*Fahren von den rund 350 gemeldeten Autos in Schwaigen zukünftig 25 % elektrisch, so ergibt sich bei einer mittleren Fahrleistung von 15.000 km pro Jahr und einem Verbrauch von 0,2 kWh/km ein zusätzlicher Strombedarf von **260 MWh** pro Jahr.*

3.1.2 Wärmeeinsparpotenziale im Gebäudebestand

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

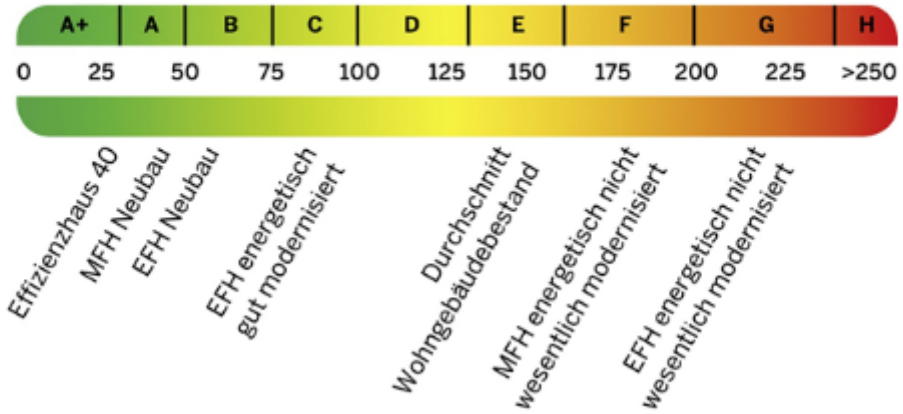
Als Referenz für ein saniertes Gebäude kann das Niveau eines KfW-Effizienzhauses 100 (d.h. ca. 70 kWh/m² a) herangezogen werden. Zu berücksichtigen ist, dass es weder wirtschaftlich noch bauphysikalisch bei allen Gebäuden möglich ist, eine vollständige Sanierung durchzuführen. Das größte Potenzial liegt hier insbesondere bei Bestandsgebäuden aus den 60er bis 80er Jahren. Diese sind in der Regel bauphysikalisch einfach zu sanieren und erzielen aufgrund der älteren Bausubstanz sehr hohe Einsparungen. Einzelmaßnahmen wie z.B. Fenstertausch oder Dachsanierungen sind zudem Investitionen, die ohnehin zum Erhalt der Wohnqualität erforderlich sind.

Ist mein Heizölverbrauch zu hoch?

Mit wenigen Schritten kann jeder Hauseigentümer seinen Verbrauchswert über die eingesetzte Energie überschlägig selbst ermitteln:
1) Verbrauch von Liter Heizöl x 10 = Energieverbrauch in kWh / a.
2) Pro Person werden 1000 kWh für Warmwasserheizung abgezogen
3) Die verbleibenden kWh werden durch die Quadratmeter Wohnfläche geteilt.

Beispielrechnung: 4 – Personen – Haushalt, 160 m² Wohnfläche, 4000 l Heizöl:
1) 4.000 l Öl x 10 = 40.000 kWh/Jahr
2) 40.000 kWh/a – 4.000 kWh/ a = 36.000 kWh/a
3) 36.000 kWh/a : 160 m² =225 kWh/m² a

*So ergibt sich ungefähr ein Energieverbrauchswert für das jeweilige Gebäude. Nicht berücksichtigt wird dabei der Anteil, der ggf. durch Holz erzeugt wird. Genauer kann hier selbstverständlich ein Energieberater Auskunft geben. Sollte sich ein Verbrauchswert über 150 kWh/m²*a ergeben, so besteht deutlicher Handlungsbedarf.*



Aus der Erhebung des Gebäudebestands für das Wärmekataster Grafenaschau geht hervor, dass rund 80 % der privaten Wohngebäude den Baualtersklassen E bis G angehören und damit in den 60er bis 80er Jahren errichtet wurden.

Durch gezielte Sanierungsmaßnahmen ergeben sich folglich große Potenziale zur Energieeinsparung.

Den Effekt der Gebäudesanierung verdeutlicht Abbildung 3-2. Gegenübergestellt werden die Nutzwärmesummen pro Jahr im Bestand (links) und im Jahr 2035 bei einer Sanierungsquote von 2 % pro Jahr (rechts). Dabei wird angenommen, dass mit jeder Komplettsanierung der jeweilige Wärmebedarf durchschnittlich um die Hälfte reduziert wird. Gebiete in denen die Einsparungspotenziale besonders deutlich werden, sind im Bereich Birkenallee, Hanseltrad, Hörnleweg, Aufackerweg sowie nördlich und südlich des Stroblhofwegs. Dort sollte daher die energetische Sanierung forciert werden.

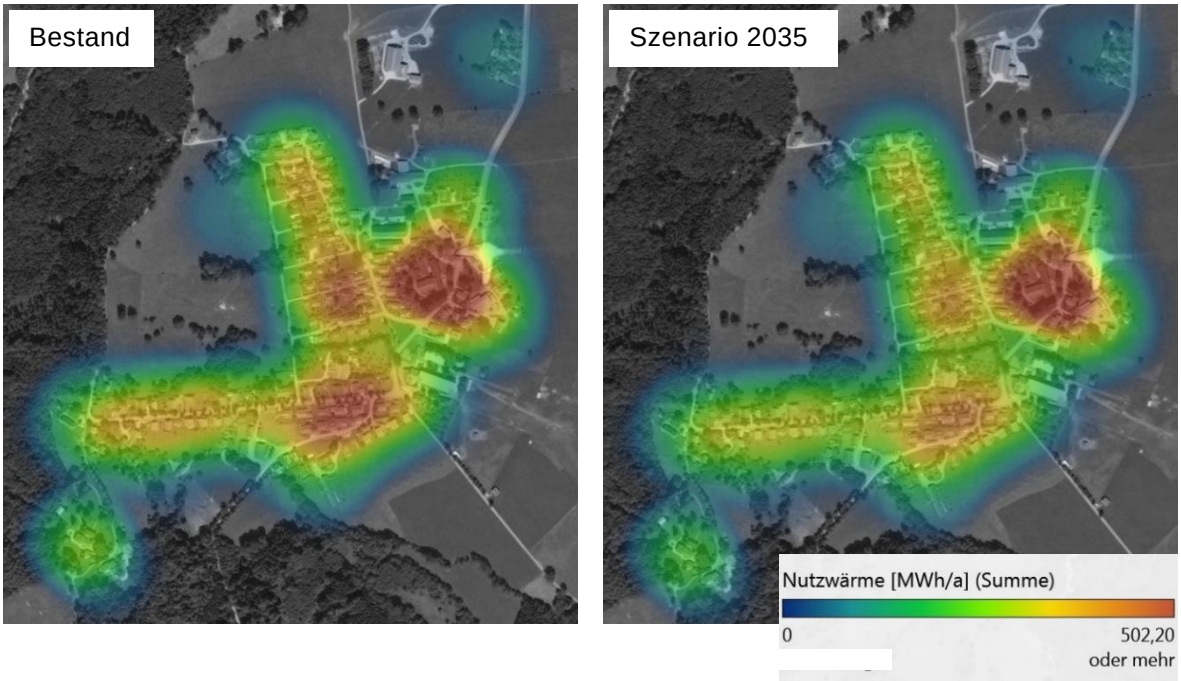


Abbildung 3-2: Nutzwärmesumme [MWh/a] im Ortsteil Grafenaschau im Bestand (links) und im Jahr 2035 bei einer Sanierungsquote von 2 % pro Jahr (rechts).

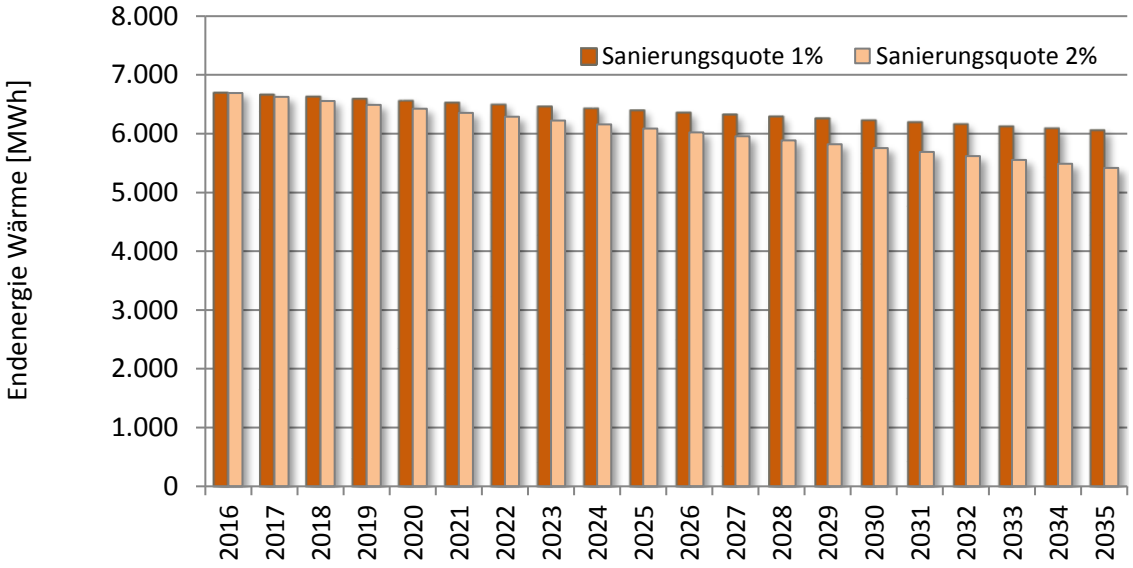


Abbildung 3-3: Mögliche Wärmebedarfsentwicklung in Schwaigen bei Sanierungsquoten von 1 % und 2 %.

Als Trichter einer möglichen Wärmebedarfsentwicklung ist für Schwaigen eine Sanierungsquote zwischen 1 bis 2 % in Abbildung 3-3 dargestellt. Bezogen auf den Gesamtwärmebedarf aller Bestandsgebäude in Schwaigen würde sich bis 2035 mit einer Sanierungsquote von 1 % ein Einsparpotenzial von 9,5 % und mit einer Sanierungsquote von 2 % ein Einsparpotenzial von 19 % gegenüber dem Jahr 2016 ergeben.

Einen Überblick über die Einsparpotenziale für Einfamilienhäuser je Baualtersklasse und Modernisierungsziel listet Tabelle 3-1 auf.

Tabelle 3-1: Reduzierung des Netto-Heizwärmebedarfs pro Jahr je Baualtersklasse für Einfamilienhäuser nach unterschiedlichen Modernisierungszielen (Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born 2015, 153 ff).

Baualtersklasse	EnEV 2014	Passivhausstandard
C	- 44 %	- 79 %
D	- 33 %	- 74 %
E	- 28 %	- 69 %
F	- 35 %	- 72 %

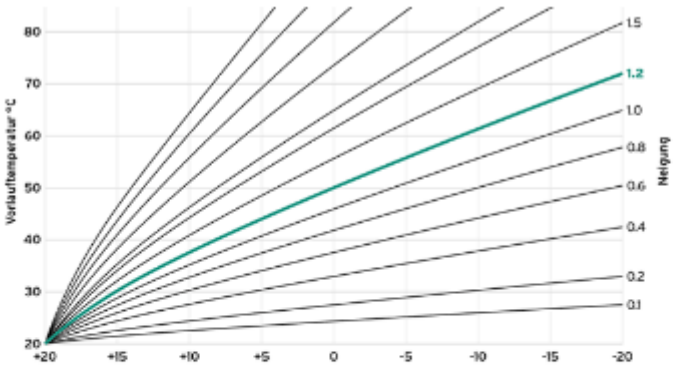
3.1.3 Effizienz in der Energieerzeugung

Eine deutliche Steigerung der effizienten Energieerzeugung kann durch eine aktive Bedienung der bestehenden Heizungsregelung erreicht werden:

Heizungs-regelung

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

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



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

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

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

3.2 Regenerative Energieerzeugungspotenziale

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

- Solarenergie (S.35)
- Bioenergie (S.40)
- Windenergie (S.46)
- Wasserkraft (S.48)
- Geothermie (S.48)

3.2.1 Solarenergie (Dachflächen)

Photovoltaik und Solarthermie sind bereits heute wichtige Bestandteile im Energie-Mix von Schwaigen. Alleine durch die PV-Aufdachanlagen im Gemeindegebiet wird derzeit eine Menge von knapp 1.200 $MWh_{el.}$ erzeugt, was rund 31 % der jährlichen Netzabsatzmenge entspricht. Dennoch besteht ein zusätzliches Potenzial zur Nutzung der natürlichen Sonnenenergie auf den Dachflächen in Schwaigen, welches im Folgenden analysiert wird.

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

3.2.1.1 Methodik der Dachflächenpotenzialermittlung

Die Ermittlung der solarenergetischen Potenziale erfolgt auf Basis eines 3-D-Gebäudemodells der bayerischen Vermessungsverwaltung (LoD2) (Abblidung 2-7) und den Globalstrahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Diese Methode erlaubt eine gebäudescharfe Ableitung des Potenzials für Photovoltaik und Solarthermie unter genauer Berücksichtigung der Dachlandschaft von Schwaigen.

Die hohe Genauigkeit dieses relativ aufwendigen Verfahrens wird im „Leitfaden Energienutzungsplan“ (StMUG u. a. 2011) explizit hervorgehoben. Insgesamt werden bei der durchgeführten Analyse insgesamt 63.615 m² Dachfläche berücksichtigt. Dachflächen von unter Denkmalschutz stehenden Gebäuden wurden von der Analyse ausgeschlossen, da das Anbringen von Kollektoren und Modulen auf diesen Gebäuden grundsätzlich genehmigungs- /erlaubnispflichtig ist. Zuständig für das Verfahren ist die Denkmalschutzbehörde (BLfD 2019). Ebenfalls von der Potenzialermittlung ausgeschlossen sind N-, NO-, und NW-ausgerichtete Dachflächen. Bereits bestehende PV- und ST-Anlagen werden bei der Analyse berücksichtigt und als nicht mehr verfügbare Dachflächen von den Potenzialflächen abgezogen. Dabei sind alle bestehenden solarthermischen Anlagen berücksichtigt, die im Rahmen des MAP in Deutschland gefördert wurden (BSW 2018).

Datenbasis der bestehenden Anlagen ist die Statistik des BSW (BSW 2018) sowie die Einspeisedaten des Netzbetreibers (Bayernwerk AG 2019b). Die Globalstrahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2017) bilden im nächsten Schritt die Grundlage zur Ermittlung der verfügbaren Einstrahlung auf den Dachflächen der Gemeinde. Da sich Globalstrahlungsdaten auf horizontale Flächen beziehen, sind die Daten zusätzlich nach Dachneigung und -ausrichtung korrigiert, um damit die auf den einzelnen Dachflächen tatsächlich verfügbare Energiemenge zu ermitteln (siehe Abbildung 3-4). Die Umsetzung dieser Korrektur erfolgte mit Unterstützung des Lehrstuhls für Geographie und Fernerkundung der LMU München im Rahmen des Projekts INOLA (Innovationen für ein Nachhaltiges Land- und Energiemanagement).

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

Die gesamte Abfolge von Arbeitsschritten zur Potenzialermittlung für Photovoltaik und Solarthermie auf den Dachflächen der Gemeinde Schwaigen kann im Detail im Ablaufschema von Anhang 1 nachvollzogen werden. Die Potenziale für Photovoltaik und Solarthermie

wurden jeweils unabhängig voneinander untersucht und dürfen folglich nicht aufsummiert werden.

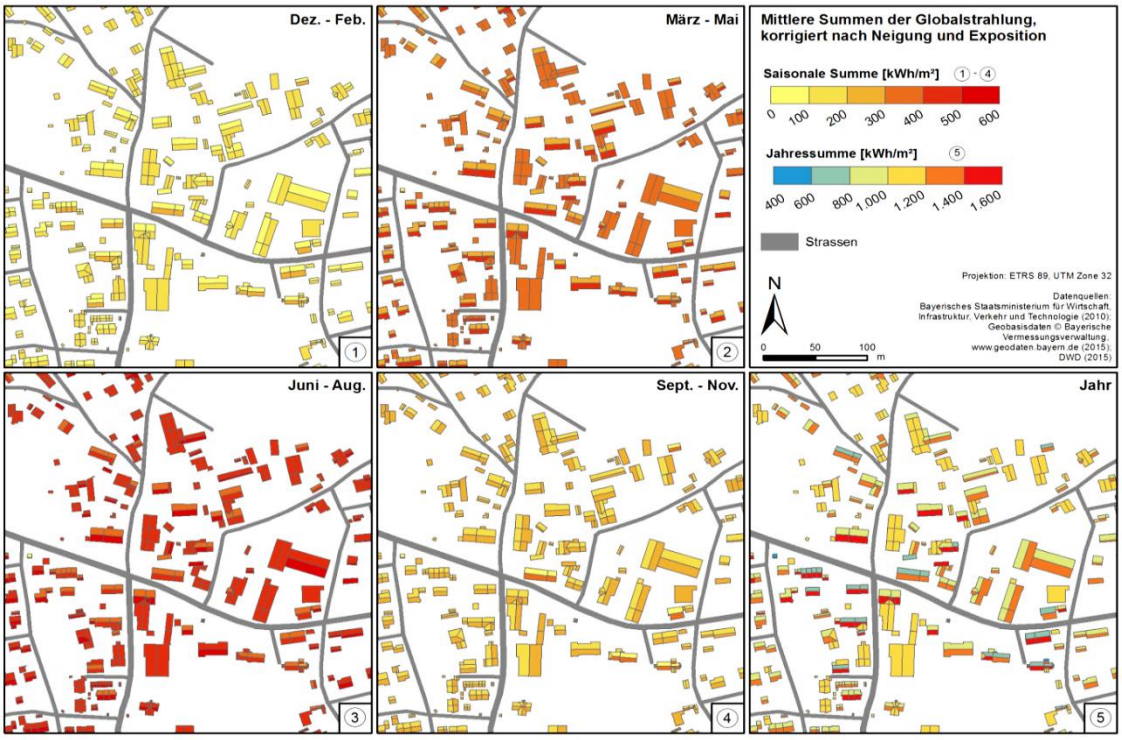


Abbildung 3-4: Durch Korrektur der Globalstrahlungsdaten nach Neigung und Ausrichtung ist für jede Dachfläche die verfügbare Globalstrahlung bekannt (Hofer u. a. 2016).

3.2.1.2 Photovoltaik

Für die Ermittlung des PV-Dachflächenpotenzials sind lediglich Dächer berücksichtigt, die mindestens ein Modulflächenpotenzial von 20 m² aufweisen. Eine Wirtschaftlichkeit ist i.d.R. erst ab dieser Flächengrößenordnung gegeben. Insgesamt ist auf den geeigneten und noch nicht belegten Dachflächen der Gemeinde maximal noch Raum für rund 26.767 m² PV-Modulfläche. Bei vollständiger Nutzung dieser Fläche ergäbe sich ein PV-Gesamtpotenzial in der Größenordnung von **2.706 MWh** pro Jahr bei einem Jahresnutzungsgrad von 9 % gemäß „Leitfaden Energienutzungsplan“ (StMUG u. a. 2011), wobei der Jahresnutzungsgrad mittlerweile höher ist.

Tabelle 3-2: Übersicht über das PV-Potenzial auf den Dachflächen der Gemeinde Schwaigen.

Ertragspotenzial PV [MWh/a]	Modulflächenpotenzial PV [m²]	Durchschnittsertrag pro Fläche [kWh/m² a]
2.706	26.767	101

Die größten Anteile des Dachflächenpotenzials entfallen auf Dächer von Wohngebäuden (44 %) und Gewerbebetrieben, zu welchen ebenfalls landwirtschaftlich genutzte Gebäude gehören (52 %). 2 % machen Überdachungen und die Dachflächen von Nebengebäuden

aus. Diese Gebäudekategorien haben oft keinen Anschluss an das bestehende Stromnetz, was im Einzelfall zu prüfen ist.

45 % des hier dargestellten Potenzials entfällt auf die besonders geeigneten Ausrichtungen Südsüdost, Süd und Südsüdwest. Aber auch nach Ost und West ausgerichtete Anlagen sind attraktiv. Denn mit der Sonneneinstrahlung in den Morgen- und Abendstunden können beim typischen Verbraucherverhalten von Privathaushalten gute Eigenverbrauchswerte erzielt werden.

3.2.1.3 Solarthermie

Für die Ermittlung des ST-Potenzials wurden bereits geeignete Dachflächen ab einem Potenzial für 11 m² Kollektorfläche berücksichtigt, da dies derzeit die Mindestvoraussetzung in der BAFA-Basisförderung für Solarthermie-Flachkollektoren ist (BAFA 2018a). Im Gegensatz zum PV-Potenzial wurden Flachdächer sowie die Dachflächen von Nebengebäuden, Gebäuden für Wirtschaft und Gewerbe und von Kapellen und der Kirche vom ST-Potenzial ausgeschlossen, da bei diesen Gebäuden die erzeugte Wärme erfahrungsgemäß oft nicht genutzt werden kann. Die im Einzelfall durchaus vorhandene wirtschaftliche Rentabilität von ST-Anlagen auf solchen Dachflächen muss individuell vor Ort geprüft werden und ist nicht Gegenstand der vorliegenden Potenzialermittlung.

Insgesamt ergibt die Potenzialermittlung eine geeignete und verfügbare ST-Kollektorfläche von rund 9.095 m², wovon über 50 % in die besonders geeigneten Expositionen Südsüdost, Süd und Südsüdwest augerichtet sind (Tabelle 3-3). Damit ergibt sich für die Gemeinde ein solarthermisches Potenzial in der Größenordnung von **2.596 MWh** pro Jahr bei einem angenommenen Jahresnutzungsgrad von 25 % gemäß Leitfaden Energienutzungsplan (StMUG u. a. 2011).

Tabelle 3-3: Übersicht über das ST-Potenzial auf den Dachflächen der Gemeinde Schwaigen.

Ertragspotenzial ST [MWh/a]	Kollektorflächenpotenzial ST [m²]	Durchschnittsertrag pro Fläche [kWh/m² a]
2.596	9.095	285

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

3.2.2 Freiflächen-Photovoltaik

Die für Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Frage kommenden Gebiete richten sich nach §48 Abs. 1 Nr. 3 c (EEG 2017) und umfassen u.a. Flächen:

- Die längs von Autobahnen oder Schienenwegen liegen (bis 110 m Entfernung).
- Die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplanes bereits versiegelt waren.
- Die sich auf Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung befinden und diese Flächen zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans nicht rechtsverbindlich als Naturschutzgebiet im Sinn des § 23 des Bundesnaturschutzgesetzes oder als Nationalpark im Sinn des § 24 des Bundesnaturschutzgesetzes festgesetzt worden sind.

In Schwaigen sind keine Flächen dieser Kategorien vorhanden.

Prinzipiell besteht auch die Option, PV-Freiflächenanlagen auf Grünlandflächen zu errichten. Die bayerische Staatsregierung ermöglicht über die oben genannten Flächen hinausgehend die Förderung von PV-Anlagen auf Acker- und Grünlandflächen in den so genannten landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten (StMWi 2017b). In Schwaigen sind alle Flächen gemäß VO RL 75/268/EWG als benachteiligtes Gebiet (Berggebiet, benachteiligte Agrarzone, Kleines Gebiet) klassifiziert. Seit Juni 2017 können sich PV-Projekte in diesen Gebieten bei den Ausschreibungsverfahren der Bundesnetzagentur für eine Förderung bewerben. Um eine übermäßige Inanspruchnahme von landwirtschaftlich und naturschutzfachlich wertvollen Flächen zu verhindern, dürfen jährlich maximal 70 dieser PV-Projekte in Bayern gefördert werden. Gebiete für Anlagen auf Flächen, die als Natura 2000-Gebiet (FFH- und Vogelschutzgebiete) festgesetzt oder Teil eines gesetzlich geschützten Biotops sind, sind von der Förderung ausgenommen (vgl. Abbildung 1-6).

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

Eine konkrete Ausweisung von Potenzialflächen ist nur schwer möglich. Theoretisch würden die Grünlandflächen in Schwaigen alleine ausreichen, um bilanziell ein Vielfaches des

Gesamtstrombedarfes der Gemeinde erzeugen zu können. Jedoch gibt es nur wenig Spielraum zur Entwicklung konkreter PV-Freiflächenprojekte.

3.2.3 Bioenergie aus Land- und Forstwirtschaft

Ausgehend von den naturräumlichen Bedingungen und der Landnutzung ergeben sich in Schwaigen verschiedene Biomasse-Energiepotenziale. Wie bereits Abbildung 1-4 zeigt, verfügt die Gemeinde über große Waldflächen (70% des Gemeindegebietes). Landwirtschaftlich genutzte Flächen machen rund 27 % des Gemeindegebietes aus (LfStat 2018a). Das sich daraus ergebende energetische Potenzial durch Nutzung verfügbarer Biomasse wird in den folgenden Kapiteln analysiert.

3.2.3.1 Energieholz

Aufgrund des Waldreichtums in der Gemeinde sowie der gesamten Region kommt dem Energieträger Holz eine ganz besondere Rolle zu. Mit Hackschnitzel-, Pellet- und Scheitholzheizungen stehen verschiedene Möglichkeiten zur thermischen Energiegewinnung zur Verfügung und finden in Schwaigen vor allem in Form von Scheitholz häufig Verwendung. Alle drei Formen haben eines gemeinsam: Als erneuerbarer und nachwachsender Energieträger ist die CO_2-Bilanz um ein Vielfaches besser als im Vergleich zu den fossilen Energieträgern Öl und Gas. Kurze Transportwege tragen zusätzlich zum Klimaschutz bei und sorgen für die regionale Wertschöpfung.

Für eine möglichst genaue Abschätzung des nachhaltigen Energieholzpotenzials wurde das Expertenwissen des für das Forstrevier von Schwaigen zuständigen Försters herangezogen. Entscheidend zur Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials für Energieholz ist auch die Kenntnis über die Waldeigentumsverhältnisse sowie über die regionale Sortierungspraxis (stoffliche Nutzung, Industrieholz, Energieholz). Einen Überblick über die Eigentumsverhältnisse in Schwaigen gibt Abbildung 3-5. Von den insgesamt rund 1.650 ha Waldfläche in Schwaigen sind etwa 400 ha in Privatbesitz. Davon sind 5 ha Gemeindewald. Die restlichen 1.250 ha der Waldfläche sind Staatswald.

Während die Staatsforstwälder bereits nahe am nachhaltigen Maximum bewirtschaftet werden und deren Holz direkt von den bayerischen Staatsforsten vermarktet wird, sind es insbesondere die Privatwälder, in denen noch große nachhaltig nutzbare Energieholzmengen entnommen werden können. Allerdings bestehen einige Hemmnisse für die intensive Waldbewirtschaftung in Schwaigen. So ist der Großteil der Waldflächen Bergwald und kann teilweise nur mit Seilbringung bewirtschaftet werden. Erschwerend kommt der Verlauf der Grundstücksgrenzen hinzu, so dass mit der Seilbahn häufig mehrere Grundstücke gekreuzt werden müssen (Abbildung 3-5).

Um auch die Energieholzpotenziale aus den in Schwaigen gelegenen Staatsforsten nutzen und damit von den kurzen Transportwegen profitieren zu können, sollte die Möglichkeit

wahrgenommen werden, mit den bayerischen Staatsforsten eine direkte Nutzung für Schwaigen zu vereinbaren.

Die aktuelle Sortierungspraxis setzt sich zu mehr als 90 % Stammholz, 1 % Industrieholz und über 5 % Energieholz zusammen. Das Energieholz ist dabei stets als „Abfallprodukt“ der stofflichen Nutzung zu sehen. Zudem ist im Sinne einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung zu beachten, dass ein gewisser Teil des verfügbaren Holzes als Totholzlebensraum und zur Aufrechterhaltung der Nährstoffverfügbarkeit im Wald verbleiben soll.

Bei einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung (Totholz, Nährstoffnachhaltigkeit, Naturschutz) und unter Abzug nicht bewirtschaftbarer Flächen können durchschnittlich rund 12 fm/ha des Holzzuwachses entnommen werden. Günstig für die thermische Verwertung von Holz ist in Schwaigen das Nadel- und Laubholzverhältnis. 60 % der Waldflächen bestehen aus Laubholz, welches einen höheren Brennwert als Nadelholz besitzt.

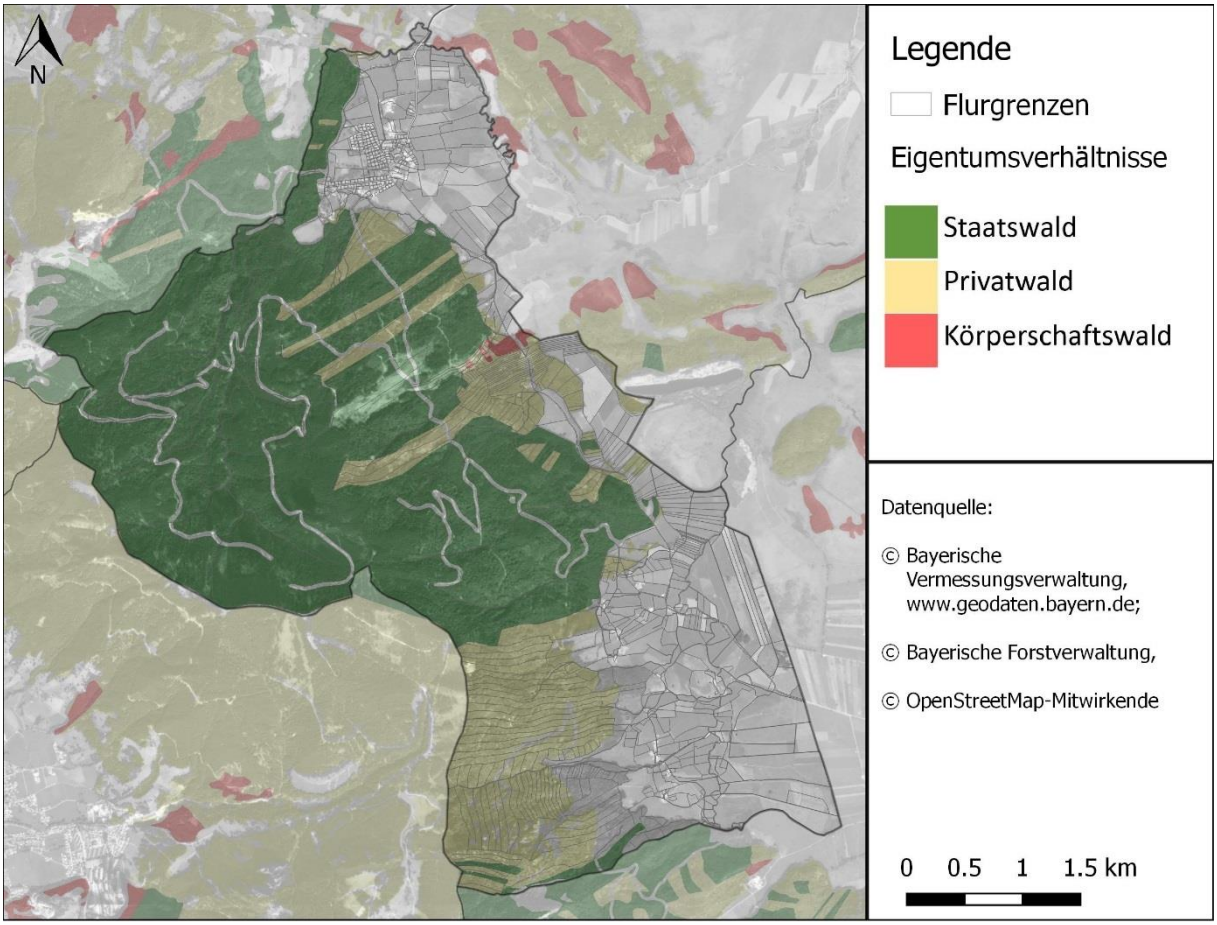


Abbildung 3-5: Forstliche Übersichtskarte mit Eigentumsverhältnissen in Schwaigen.

Derzeit werden insgesamt aus den Staats- als auch Privat- und Körperschaftswäldern rund 8,5 fm/ha pro Jahr entnommen. Bei gleicher Sortierungspraxis, unter Gesichtspunkten der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und Berücksichtigung nicht erschließbarer Waldflächen ergibt sich ein zusätzliches Energieholzpotenzial von **2.586 srm/a**. Dies entspricht bei der in Schwaigen gegebenen Nadel- und Laubholzverteilung **2.671 MWh Wärme** bzw.

267.088 Litern Heizöl pro Jahr. Abbildung 3-6 zeigt graphisch die bereits genutzten sowie zusätzlichen Potenziale bei derzeitiger Sortierungspraxis.

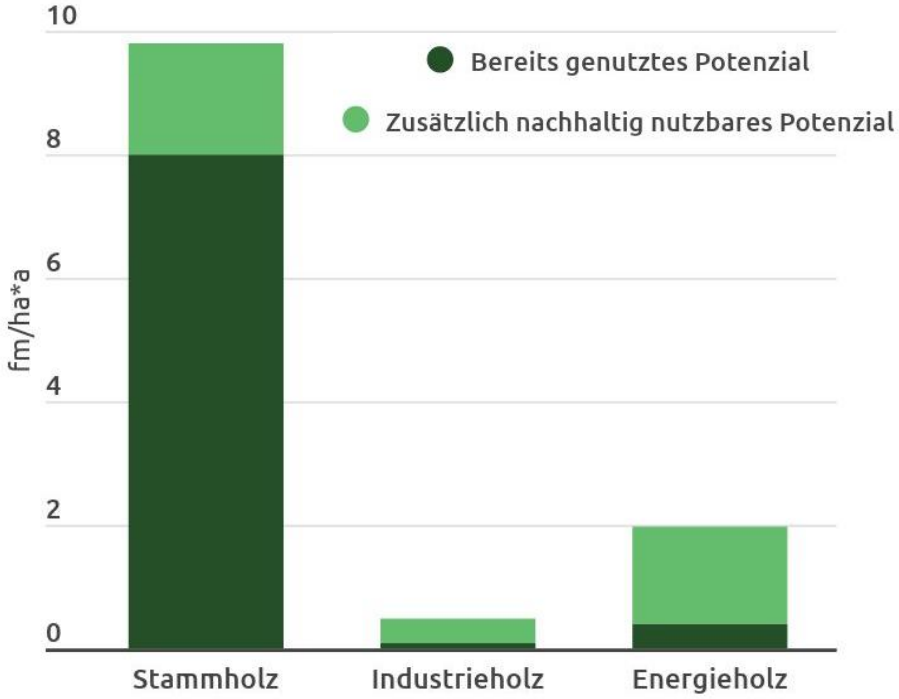


Abbildung 3-6: Bereits genutzte und zusätzlich nachhaltig nutzbare Holzpotenziale in Schwaigen.

Darüber hinaus fallen rund 10 % des Stammholzes als Sägespänerest an. Dieser kann zu Pellets weiterverarbeitet werden und so zusätzlich zum Energieholzpotenzial beitragen. Noch nicht eingeschlossen in diese Analyse sind mögliche Potenziale aus Kurzumtriebsplantagen oder Abfallreste wie beispielsweise Straßenbegleitgrün.

3.2.3.2 Biogas

Die Energiegewinnung durch Biogas gilt als innovativ, ist aber auch mit großen Herausforderungen verbunden. Durch Verbrennung von Biogas in BHKWs kann neben Strom auch die anfallende Abwärme genutzt werden. Somit kann eine besonders energetisch effiziente Nutzung dieses regenerativen Energieträgers stattfinden. Derzeit existiert im Gemeindegebiet von Schwaigen keine Biogasanlage.

Interessant ist, dass nach der Vergärung die Biogasgülle sogar mit teils verbesserten Düngeeigenschaften wie vor der Vergärung auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden kann (Biogas Forum Bayern 2017). Auf die Ausweisung eines Biogaspotenzials durch Maisvergärung wurde verzichtet, da innerhalb der Gemeinde keine geeigneten Anbauflächen in Frage kommen und Maismonokulturen zahlreiche ökologische Nachteile mit sich bringen.

Welche Biogaspotenziale theoretisch innerhalb von Schwaigen bestehen, um das in der Nutztierhaltung anfallende Düngematerial zum Vergären in Biogasanlagen und zur

anschließenden Energieproduktion zu nutzen, ist in Tabelle 3-4 dargestellt. Datengrundlagen der folgenden Biogaspotenzialanalyse für Schwaigen sind die Nutztierstatistik sowie die durchschnittlichen Energiegewinne aus Festmist bzw. Gülle und den Betriebsstunden des BHKWs. Eine separate Berücksichtigung von Mastrindern und Milchkühen ist deshalb erforderlich, da sich die entsprechenden Energiepotenziale deutlich unterscheiden (siehe Tabelle 3-4). Gute Biogaserträge lassen sich auch mit Pferdemist erzielen (sh. Pferdemistvergärungsanlage Reichersbeuern), weshalb dieser bei der Potenzialanalyse mitberücksichtigt wurde.

Nicht berücksichtigt für die Analyse wurde die zusätzliche Verwendung von Landschaftspflegematerial, wie es beispielsweise im Murnauer Moos anfällt. Aufgrund des hohen Anteils an Holzfasern ist es jedoch nur in sehr großen Biogasanlagen als Substrat einsetzbar.

Der momentane Nutztierbestand in Schwaigen beläuft sich auf etwa 368 Mastrinder und 376 Milchkühe. Die Anzahl der Einhufer (Pferde, Esel) im Gemeindegebiet beträgt 18 (LfStat 2018d). Bei vollständiger Nutzung der anfallenden Gülle- und Festmistmengen ließen sich mit diesem Nutztierbestand insgesamt ca. **174.191 m³/a** Methan bzw. **600 $MWh_{el.}$/a** produzieren.

Wie in Abbildung 3-7 dargestellt, entsprechen auf Basis der durchschnittlichen Vollbenutzungsstunden von deutschen Biogasanlagen (Agentur für Erneuerbare Energien 2013) 600 $MWh_{el.}$/a einer installierten Leistung von 98 $kW_{el.}$

Unter Annahme der vollständigen energetischen Verwertung der aktuell in Schwaigen anfallenden Gülle- und Festmistmengen wäre rechnerisch der Betrieb von maximal einer 75 kW-Anlage möglich.

Anlagen mit Leistungen bis 75 kW_{el} sind insbesondere unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten interessant, da diese nach dem EEG 2017 nicht unter die Ausschreibungspflicht fallen und derzeit einen erhöhten Vergütungswert von 23 ct/kWh erhalten, gemäß § 44 „Strom aus neuen Biomasseanlagen“ (EEG 2017).

Tabelle 3-4: Berechnungsgrundlage zur Abschätzung des Biogaspotenzials in Schwaigen (FNR 2014).

	Berechnungsfaktor			
	[m³ CH_4/TP*a]	**[kWh_{el}/TP *a]**	**Anzahl TP**	**Potenzial MWh_{el}/a**
Mastrind (2,8 t Festmist/TP*a)	*185*	*562*	*368*	***207***
Milchkuh (17 m³ Gülle/TP*a)	*289*	*1.095*	*343*	***376***
Einhufer (11,1 t Festmist/TP*a)	*388*	*1.472*	*18*	***26***
			Gesamt	***609***

Grundvoraussetzungen einer Anlagenrealisierung sind die Bereitschaft mehrerer Landwirte zum Zusammenschluss zu einer Betreibergesellschaft sowie eine sichergestellte Fortführung der Tierhaltung.

Allerdings liegen die landwirtschaftlichen Betriebe in den Ortsteilen Vorder- und Hinterbraunau, Plaicken und Apfelbichl weit auseinander, was die Nutzung einer gemeinsamen Anlage erschwert.
Eine gleichzeitige Wärmenutzung ist prinzipiell wünschenswert, aber aufgrund der großen Abstände von Biogasanlagen zu potenziellen Wärmeabnehmern oftmals wirtschaftlich nicht realisierbar.

Abbildung 3-7: Die sich aus dem Nutztierbestand im Jahr 2016 in Schwaigen theoretisch ergebenden Biogaspotenziale.

3.2.3.3 Alternative Biogassubstrate

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

„Informations- und Demonstrationszentren Energiepflanzenanbau“ an zehn Standorten in Bayern besichtigt werden (http://biogas-forum-bayern.de/energiepflanzen).

Abbildung 3-8: Beispiele für alternative Biogassubstrate: Sida (1) und Riesenweizengras (2), mit denen jeweils hohe Biogaserträge erzielt werden können (Biogas Forum Bayern 2017).

Eine weitere Möglichkeit zum Energiepflanzenanbau sind sogenannte Kurzumtriebsplantagen (KUP), die dann weiter zu Hackschnitzeln verarbeitet werden können. Der Anbau von KUP ist insbesondere auf Ackerflächen mit guter Wasserversorgung und schlechter Nährstoffversorgung eine interessante Alternative und wird in wissenschaftlichen Untersuchungen als ökologisch wertvoll eingestuft (Strohm u. a. 2012). KUP können auch als ökologische Vorrangfläche (ÖVF) im Rahmen des Greenings angerechnet werden. Insofern stellen KUP eine interessante Alternative für Landwirte dar, um die Greening-Anforderungen zu erfüllen. Unregelmäßige Zahlungsströme, eine lange Flächenbindung und niedrige Hackschnitzelpreise sind dagegen derzeit die Gründe, warum die Bereitschaft gegenüber dem Anbau von KUP häufig noch gering ist.

Zur Standortbewertung stellt die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) die Ergebnisse eines Ertragsmodells im Internet zur Verfügung, mit dem sich Erträge im Pappelanbau einschätzen lassen. Für die Gemeindefläche von Schwaigen ergibt die Modellierung einen mittleren Ertrag von 12 – 15 t/ha*a (www.kupscout-bayern.de).

Abbildung 3-9: Der Anbau von KUP ist nicht nur eine Möglichkeit Hackschnitzel als Bioenergieträger zu gewinnen, sondern kann außerdem Bodenerosionen verhindern und für vielfältigere Anbaustrukturen sorgen.

3.2.4 Windenergie

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

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

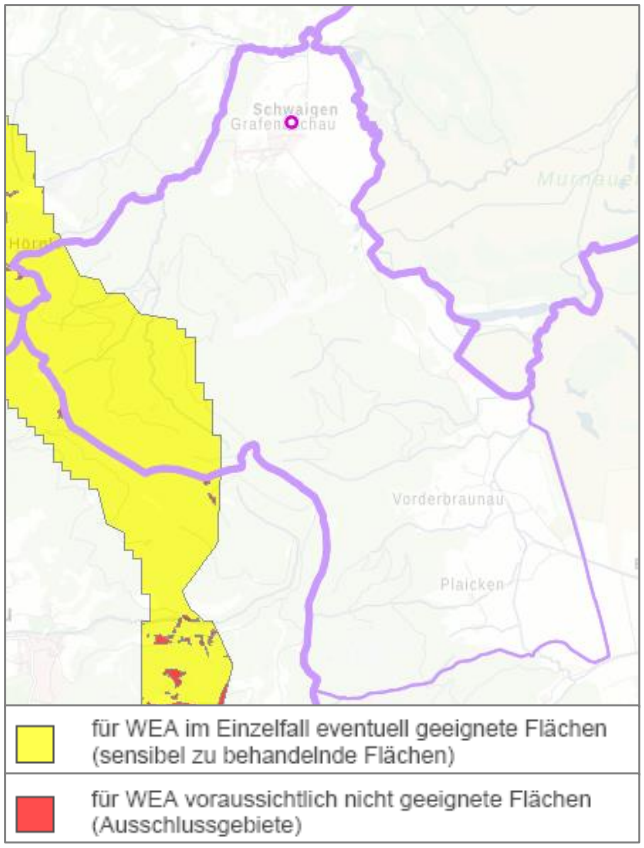


Abbildung 3-10: Gebietskulisse Windkraft (nach: StMWi 2019b).

Neben den schwierigen gesetzlichen Rahmenbedingungen sind auch die fehlende Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung gegenüber Windrädern Gründe, die gegen den Bau von Windkraftanlagen sprechen. Nichtsdestotrotz wurde für Schwaigen sowohl das Potenzial für Groß- als auch für Kleinwindanlagen untersucht, da sich die genannten Rahmenbedingungen unter Umständen auch wieder in Richtung pro Windkraft entwickeln können.

Die Gebietskulisse in Abbildung 3-10 zeigt, dass im westlichen Gemeindegebiet von Schwaigen eventuell geeignete Flächen für Windenergieanlagen vorhanden sind (StMWi 2019b). Dieser Bereich ist im Alpenplan als Zone B ausgewiesen, welcher die Nutzung von Windenergieanlagen nicht ausschließt, jedoch eine sensible Beurteilung der Fläche vorsieht.

3.2.4.1 Großwindanlagen

Der Mindestwert für den wirtschaftlichen Betrieb einer Großwindkraftanlage (mit ca. 130 m Nabenhöhe) liegt in Abhängigkeit von der Einspeisevergütung bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von etwa 4,5 bis 5,0 m/s auf Nabenhöhe (Kaltschmitt u. a. 2014).
Aus Abbildung 3-11 geht hervor, dass die Windgeschwindigkeiten auf 130 m am westlichen Rand des Gemeindegebietes im Bereich zwischen Hinterem Hörnle und Aufacker 5,0 m/s

erreichen, in 160 m ist die Windgeschwindigkeit höher. In diesem Bereich befinden sich keine Schutzgebietskategorien, welche die Nutzung von Windkraft ausschließen (Abbildung 1-6). Bei dem gesamten Gebiet handelt es sich vollständig um Staatswald (Abbildung 3-5).

Technische Innovationen machen es zunehmend möglich, dass die Energieproduktion bei immer niedrigeren Windgeschwindigkeiten beginnen kann. In Windparks mit älteren und neueren Anlagen lässt sich beobachten, dass die technisch ausgereifteren, neuen Typen schon bei geringen Windstärken anlaufen.

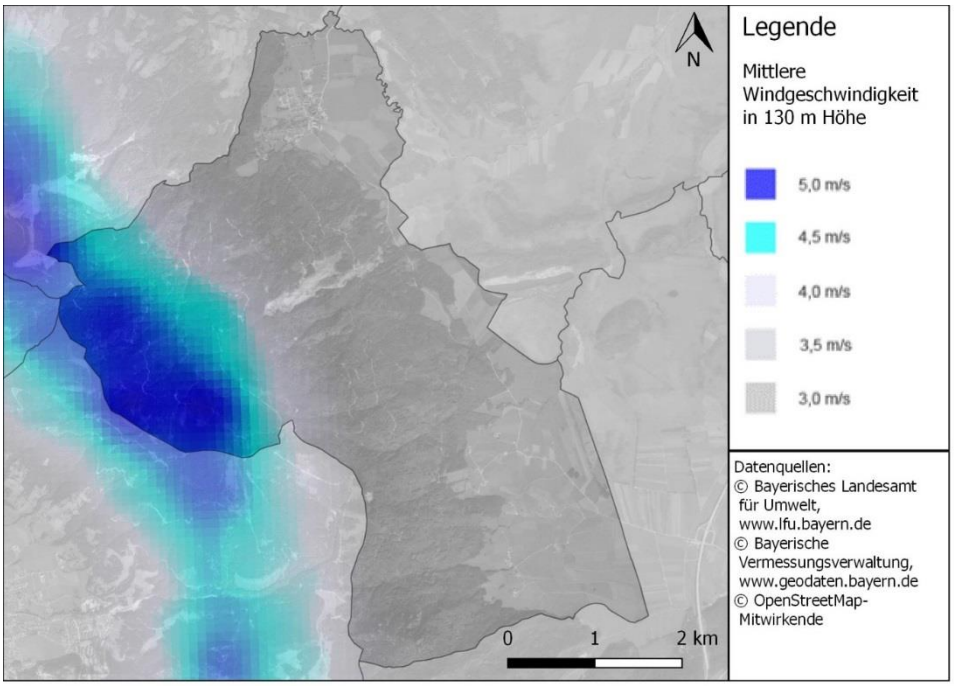


Abbildung 3-11: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 130 m Höhe über Grund.

Auf eine Betrachtung der Auswirkungen der 10-H-Regel wurde verzichtet. Im Regionalplan 17, in welchem Vorrang- und Ausschlussgebiete für Windkraft definiert sind, existieren in Schwaigen keine Vorrangflächen für Windkraft.

3.2.4.2 Kleinwindkraftanlagen

Bei Kleinwindkraftanlagen ist ein Mindestwert der Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s auf Nabenhöhe, die Windgeschwindigkeitsverteilung, eine möglichst freie Anströmung in Hauptwindrichtung sowie ein hoher Eigenverbrauchsanteil für einen wirtschaftlichen Betrieb nötig (BWE 2013). Welche mittleren Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe in Schwaigen zu erwarten sind, ist in Abbildung 3-12 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Windgeschwindigkeiten über Schwaigen im Tal bei 2,0 bis 3,0 m/s liegen und damit für Kleinwindanlagen zu niedrig sind. In höheren Lagen können die Windgeschwindigkeiten zwar 4,5 m/s erreichen, allerdings handelt es sich dort durchwegs um bewaldete Flächen. Ein quantifizierbares Potenzial für Kleinwindkraftanlagen kann in Schwaigen somit nicht ausgewiesen werden. Im Einzelfall kann ein Betrieb dann in Betracht gezogen werden, wenn

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

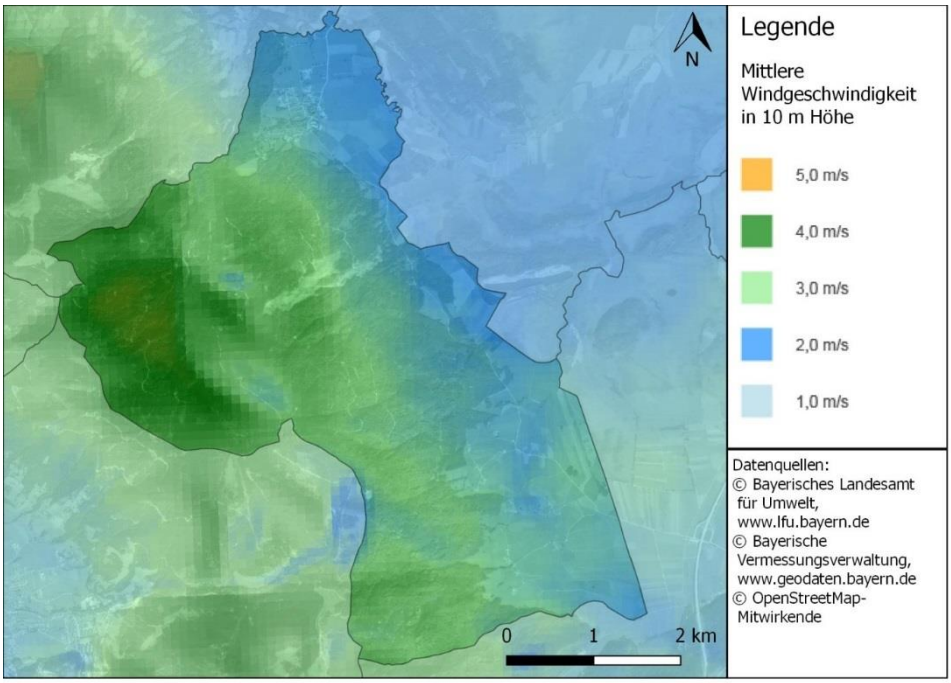


Abbildung 3-12: Berechnete mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 1981 - 2010 in 10 m Höhe über Grund.

3.2.5 Wasserkraft

Wasserkraft ist aufgrund der Energieumwandlung mit sehr hohem Wirkungsgrad neben der Windenergie ebenfalls eine sehr kostengünstige Form der regenerativen Stromerzeugung. Auf Basis der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen sind jedoch fast ausschließlich Potenziale durch Modernisierung und Nachrüstung sowie durch Neubau an bestehenden Querbauwerken realisierbar (LfU 2019). In den Fließgewässern auf dem Gemeindegebiet von Schwaigen sind keine Querbauwerke verhanden.

Es könnte geprüft werden, ob sich der Lahnegraben für den Betrieb einer Kleinwasserkraftanlage eignet. Bei einer Höhendifferenz von rund 90 Metern und einem Abfluss von 40 l/s könnte potenziell eine Menge von rund 140 MWh Strom pro Jahr erzeugt werden.

3.2.6 Oberflächennahe Geothermie

Die Nutzung oberflächennaher geothermischer Energie als alternative, umweltfreundliche Energiequelle hat großes Potenzial und gewann in den letzten Jahren dank technologischer Weiterentwicklungen immer mehr an Bedeutung. Erdwärme ist außerdem eine sehr

stabile, krisensichere und konstante Energiequelle, da diese im Gegensatz zur Solar- und Windenergie, welche infolge der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung und des Windangebots tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen, unabhängig ist. Der Entzug von Erdwärme aus oberflächennahen Erdschichten erfolgt mittels Wärmepumpen. Dabei wird der Umgebung aus dem Grundwasser oder dem Erdreich Wärme entzogen und zum Heizen ins Hausinnere geleitet. Per Definition wird die Nutzung bis 400 m Tiefe als oberflächennahe Geothermie bezeichnet (LfU 2013). In der Praxis werden in aller Regel aber nur Tiefen bis 100 m erschlossen, da bergrechtlich (BBergG §127) Bohrungen bis zu 100 m freigestellt sind. Tiefere Bohrungen müssen der zuständigen Bergbehörde angezeigt werden (Hähnlein u. a. 2011). Der Gebrauch von Wärmepumpen zur Nutzung der Erdwärme erlaubt es zudem, neben der Bereitstellung von Wärmeenergie, auch Gebäude zu kühlen. So kann beispielsweise ein Gebäude mit Hilfe einer Wärmepumpe im Winter beheizt und im Sommer gekühlt werden. Für die Nutzung von Umgebungsluft kommen Luft-Wärmepumpen mit ähnlichem Prinzip zum Einsatz. Jedoch ist die Verwendung im Sinne der Energiewende oftmals suboptimal. Denn immer dann, wenn die Luftwärmepumpe viel Strom benötigt (kalte Witterung), steht i.d.R. wenig erneuerbarer Strom zur Verfügung.

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

Jahres-arbeitszahl

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

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

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

- **Erdwärmekollektoren:** Flache, oberflächennahe Erdwärmenutzungssysteme, die in Tiefen bis zu 5 m die Erdwärme nutzen. Für diese Technologie ergibt sich ein hoher Flächenbedarf. Schätzungsweise wird doppelt so viel Platz für die Flächenkollektoren benötigt, wie Wohnfläche beheizt werden soll. Insofern sind die Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmekollektoren in den dichter bebauten Ortsteilen stark eingeschränkt.

  Für eine Wärmequelle auf engerem Raum könnten sogenannte Erdwärmekörbe sorgen. Dies sind vorgefertigte Wärmetauscher, die auf relativ kleiner Fläche dem Erdreich Wärme entziehen können.
- **Erdwärmesonden:** Eine Erdwärmesonde wird im Gegensatz zu den Erdwärmekollektoren in tiefere Erdschichten eingebracht. Diese kommen mit einem deutlich geringeren Platzbedarf aus. Für die Verlegung von Erdwärmesonden werden Erdbohrungen bis zu 100 Meter Tiefe durchgeführt. Bei solch tiefen Bohrungen kann neben der Wärmeenergie auch Energie zur Stromproduktion gewonnen werden. Erdwärmesonden sind weitaus effektiver als Erdwärmekollektoren. Dies hängt damit zusammen, dass die Temperatur mit zunehmender Bohrtiefe wärmer und konstanter wird. Ab 15 Meter liegt die Temperatur bei konstanten 10 Grad Celsius. Danach steigt die Temperatur pro 30 Meter um ein Grad Celsius. Die Bohrtiefe und Anzahl der Erdwärmesonden hängt vom erforderlichen Wärmebedarf ab.

- **Grundwasser-Wärmepumpen:** Eine Grundwasser-Wärmepumpe benutzt die im Grundwasser enthaltene Wärme, um damit zu heizen. Da Grundwasser im Jahresverlauf eine konstant hohe Temperatur aufweist, ist es als Wärmequelle hervorragend geeignet. Die Tiefe der Bohrung richtet sich nach der Höhe des Grundwasserspiegels. Aus dem Förderbrunnen wird das Grundwasser nach oben gepumpt und durch Rohre zur Wärmepumpe geleitet. Das abgekühlte Wasser wird dann in einem zweiten Brunnen (Schluckbrunnen) wieder abgeleitet. Bei dieser Variante müssen Gewässerschutzrichtlinien eingehalten und eine Genehmigung beantragt werden. Auch hier ist die Möglichkeit gegeben im Sommer das Grundwasser zur Kühlung zu nutzen (LfU 2019).

- **Luft-Wärmepumpe**

  Diese Aggregate können der Umgebungsluft Wärme entziehen und Wärme für Heizung und Warmwasser zur Verfügung stellen. Im Vergleich zu den oben angeführten Wärmequellen ist eine Luftwärmepumpe mit weniger Aufwand zu installieren. Der Nachteil ist eine geringere Arbeitszahl gerade bei kalter Witterung. Ein

monovalenter Betrieb ist daher nur bei Neubauten von ein Ein - oder Zweifamilienhäusern mit großen Heizflächen sinnvoll. Größere Gebäude, vor allem mit Warmwasserbereitung, sollten zusätzlich eine Heizquelle für höhere Vorlauftemperaturen oder zur hygienischen Warmwasserbereitung vorhalten.

Wo der Einsatz der dargestellten Erdwärmesysteme in Schwaigen möglich ist und in welchen Gebieten Einschränkungen existieren, wird im folgenden Abschnitt im Detail dargestellt. Nutzungseinschränkungen ergeben sich vorwiegend aus wasserschutzrechtlichen Gründen. Beispielsweise ist in der Zone I bis III/IIIA von Wasserschutzgebieten der Bau und Betrieb von Erdwärmesonden i.d.R. verboten. Vor Auftragsvergabe sind von Planern, Handwerksbetrieben oder Wärmepumpenherstellern die Gegebenheiten am Standort unbedingt zu prüfen. Für weiterführende Informationen sei insbesondere auf die Publikation „Oberflächennahe Geothermie“ (LfU 2013) verwiesen.

3.2.6.1 Potenziale für Erdwärmekollektoren

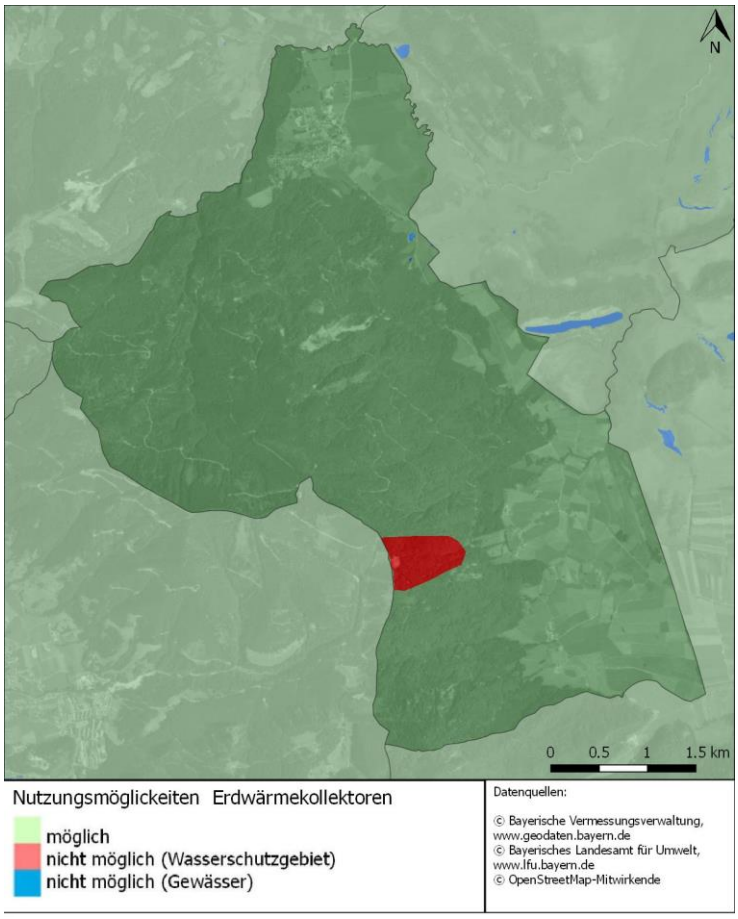


Abbildung 3-13: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmekollektoren in Schwaigen.

Im gesamten besiedelten Gemeindegebiet von Schwaigen ist die Nutzung von Erdwärmekollektoren möglich und durch keine gesetzliche Einschränkung betroffen (Abbildung 3-13). Dieses Potenzial steht also prinzipiell zur Verfügung. Bei dem in der Karte rot dargestellten Ausschlussgebiet handelt es sich um ein Wasserschutzgebiet, in dem Bohrungen grundsätzlich nicht zulässig sind und welches nicht im relevanten Bereich liegt.

Ein entscheidender Nachteil von Flächenkollektoren ist der enorme Platzbedarf, den diese Systeme benötigen. Schätzungsweise wird doppelt so viel Platz für die Flächenkollektoren benötigt, wie Wohnfläche beheizt werden soll. Insofern sind die Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmekollektoren innerhalb von dicht bebauten Ortsteilen mangels Flächenverfügbarkeit meist nicht gegeben.

3.2.6.2 Potenziale für Erdwärmesonden

Gegenüber Erdwärmekollektoren haben Erdwärmesonden den entscheidenden Vorteil, dass diese mehr oder weniger unabhängig von Witterungseinflüssen sind, die an der Erdoberfläche herrschen.

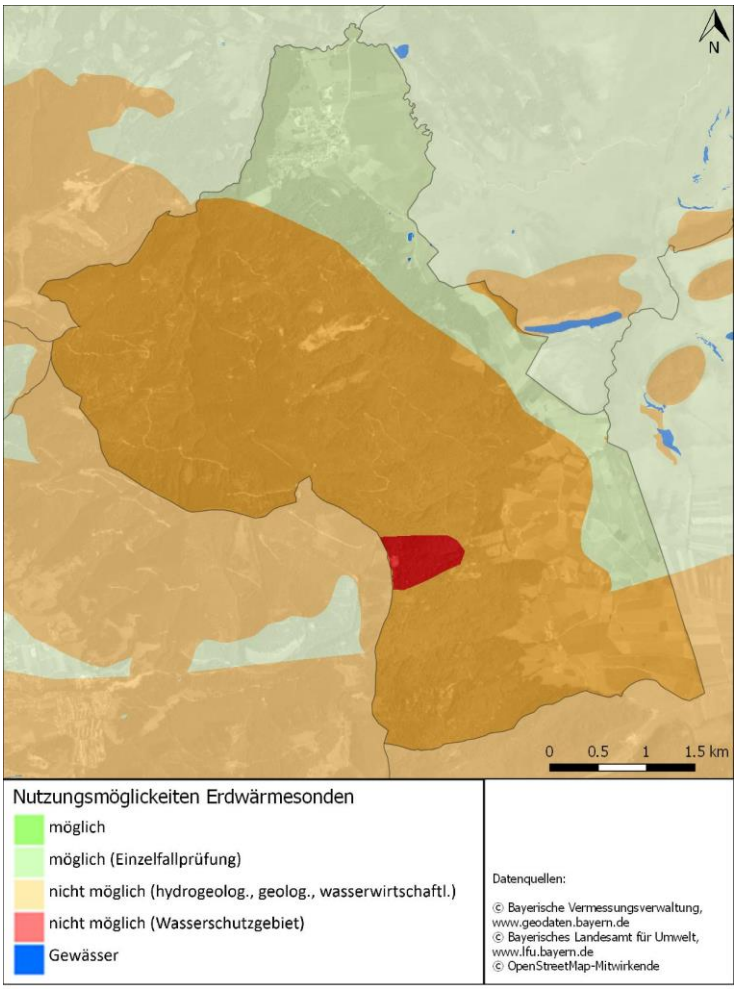


Abbildung 3-14: Nutzungsmöglichkeiten für Erdwärmesonden in Schwaigen.

Abbildung 3-14 zeigt, dass der Einsatz von Erdwärmesonden zumindest im Ortsteil Grafenaschau mit behördlicher Einzelfallprüfung möglich ist. In den restlichen besiedelten Gebieten ist die Nutzung von Erdwärmesonden aufgrund (hydro-) geologischer oder wasserwirtschaftlicher Gründe nicht möglich. Unabhängig von den hier getroffenen Aussagen zur Nutzungsmöglichkeit prüft im Einzelfall die Untere Wasserbehörde in der örtlich zuständigen Kreisverwaltungsbehörde die Zulässigkeit einer Anlage. Besonders im Neubaubereich mit geringem Wärmebedarf kann diese Technologie eine interessante Option zur Wärmebereitstellung darstellen.

3.2.6.3 Potenziale für Grundwasserwärmepumpen

Die für Schwaigen aufbereiteten Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen sind in Abbildung 3-15 dargestellt. Auch die Nutzung von Grundwasserwärmepumpen ist im Ortsteil Grafenaschau mit behördlicher Einzelfallprüfung möglich. Moorgebiete sowie (hydro-) geologische oder wasserwirtschaftliche Gegebenheiten schließen die Nutzung von Grundwasserwärmepumpen im restlichen Siedlungsbereich von Schwaigen aus. Ebenso wird die Zulässigkeit einer Anlage unabhängig von den hier dargestellten Nutzungsmöglichkeiten im Einzelfall durch die Untere Wasserbehörde in der örtlich zuständigen Kreisverwaltungsbehörde geprüft.

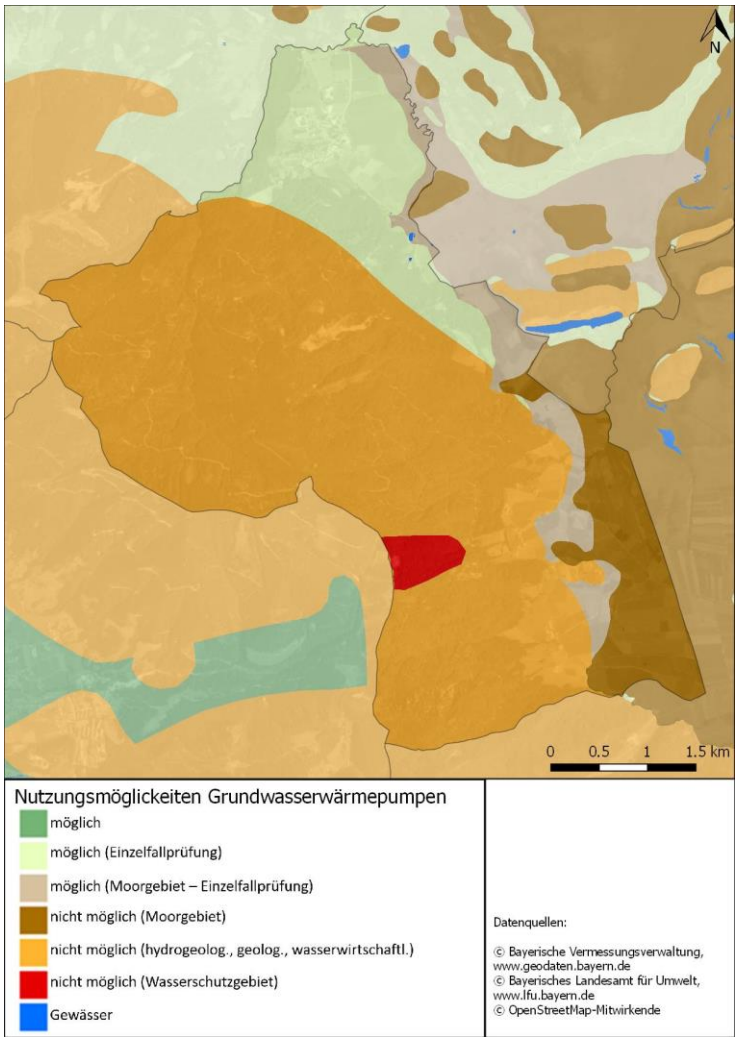


Abbildung 3-15: Nutzungsmöglichkeiten für Grundwasserwärmepumpen in Schwaigen.

Zudem muss beachtet werden, dass bedingt durch die geringen Grundwassertemperaturen die Effizienz von Grundwasserwärmepumpensystemen in Schwaigen i.d.R. geringer als im Bundesdurchschnitt ist. Hier muss zusätzlich bedacht werden, dass dem knapp 8 Grad kalten Grundwasser nochmal 5 Grad Wärme entzogen wird und in der Folge die Gefahr von Frostschäden besteht.

3.2.6.4 Gesamtpotenzial für oberflächennahe Geothermie bis 2035

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

Dabei wurde deutlich, dass der Einsatz von Grundwasserwärmepumpen und Erdwärmesonden nicht auf dem gesamten Gemeindegebiet uneingeschränkt einsetzbar ist – allerdings wird im Hauptort Grafenaschau die Nutzung mit behördlicher Einzelfallprüfung als möglich eingestuft. Die Nutzung von Erdwärmekollektoren ist dagegen uneingeschränkt möglich, mit dem Nachteil des großen Platzbedarfs dieser Systeme.

Schwierig gestaltet sich vor allem die Quantifizierung eines Gesamtpotenzials für oberflächennahe Geothermie, da diese Energieform nach menschlichen Maßstäben im Boden nahezu unerschöpflich vorhanden ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Zubaurate beim Neubau erhöhen wird, da die beschriebenen Nutzungseinschränkungen den Einsatz von Erdwärmekollektoren und -sonden zulassen und insbesondere

Erdwärmesonden geeignet sind, geringe Heizwärmemengen (wie i.d.R. bei Neubauten der Fall ist) zu decken. Aus der Fortschreibung der mittleren Rate des Zubaus der Jahre 2009 - 2016 ergibt sich bis zum Jahr 2035 ein Potenzial von etwa **135 MWh Wärme** zusätzlich aus oberflächennahen Geothermiesystemen.

3.2.7 Tiefengeothermie

Die Erschließung und Nutzung von Geothermievorkommen in Tiefen zwischen 400 und 5.000 Metern in Oberbayern ist schon seit einigen Jahren im Aufbruch begriffen. Für die erfolgreiche Realisierung hydrothermaler Wärme- und Stromerzeugung durch Tiefengeothermie sind ausreichende Entnahmemengen nötig, welche allerdings nur in der hydrogeologischen Zone des Malm Aquifers zu erreichen sind.

Im Gemeindegebiet von Schwaigen herrschen dagegen keine günstigen geologischen Verhältnisse zur Erschließung von Tiefenerdwärme. Wie Abbildung 3-16 zeigt, liegt Schwaigen am Nordrand der alpinen Decken. Erst nördlich des Nordrandes der Faltenmolasse ergeben sich für Tiefengeothermie günstige Voraussetzungen. Infolge dessen ergibt sich nach derzeitigem Wissensstand kein Potenzial für Tiefengeothermie in Schwaigen.

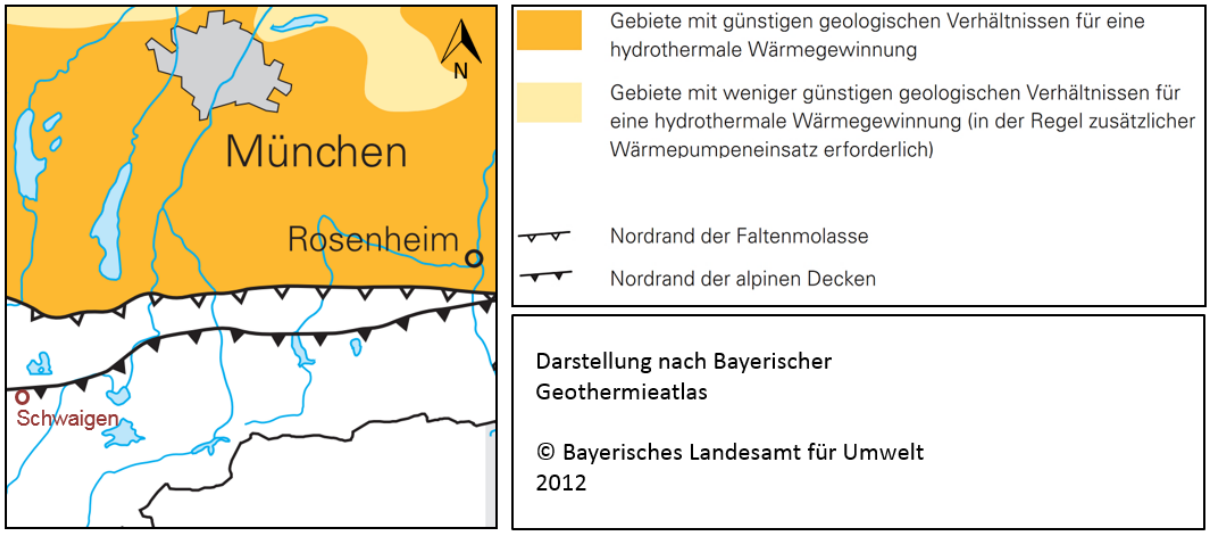


Abbildung 3-16: Gebiete in Bayern mit günstigen geologischen Verhältnissen zur hydrothermalen Wärmegewinnung.

3.2.8 Abwärmepotenziale

Die Vorteile der Abwärmenutzung liegen in der Reduzierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Reduzierung der Schadstoffemissionen. Dies führt zu geringeren Betriebskosten bzw. zu geringeren Investitionskosten der Wärmeerzeugungsanlage.

In Schwaigen ist derzeit keine sinnvoll nutzbare Abwärmequelle vorhanden.

3.2.9 E-Mobilität

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

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

Abbildung 3-17: Die Verknüpfung von Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wie Sonne und E-Mobilität kann zukünftig einen Beitrag leisten, um die verkehrsbedingten Emissionen in der Region zu senken.

Grundvoraussetzung dafür, dass Elektromobilität einen Beitrag zum Klimaschutz leistet, ist eine regenerative Erzeugung des „getankten“ Stroms. Ansonsten stellt sich die Klimabilanz von E-Autos schlechter als bei üblichen Verbrennungsmotoren dar. Im Idealfall werden erneuerbare Energieerzeugung vor Ort und E-Mobilität gemeinsam gedacht. Insgesamt ist der Anteil an erneuerbaren Energien am deutschen Bruttostromverbrauch mit 31,7 % jedoch noch zu gering, damit das Tanken aus der Steckdose einen tatsächlichen Klimaschutzbeitrag gegenüber üblichen Verbrennungsmotoren leisten kann. Sofern der für ein E-Auto benötigte Strom also nicht selbst erzeugt werden kann, sollte zumindest umweltfreundlicher Ökostrom aus erneuerbaren Energiequellen bezogen werden.

4. Konzeptentwicklung

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

4.1 Handlungsbedarf und Handlungsoptionen

Für die Gemeinde Schwaigen wurde der Handlungsbedarf und die wesentlichen Handlungsoptionen zunächst unter Berücksichtigung der aktuellen Bedarfssituation und den vorhandenen Energiepotenzialen identifiziert.

4.1.1 Strom

Die Ausgangslage im Strombereich ist in Kapitel 2.1 und Abbildung 4-1 dargestellt. In der Jahresbilanz werden im Jahr 2016 21,6 % des Gesamtstrombedarfs durch erneuerbare Energieanlagen im Gemeindegebiet erzeugt. Der verbleibende Anteil von 78,4 % wird durch Netzbezug gedeckt. Der Gesamtstromverbrauch in der Gemeinde Schwaigen lag bei knapp 1.460 MWh.

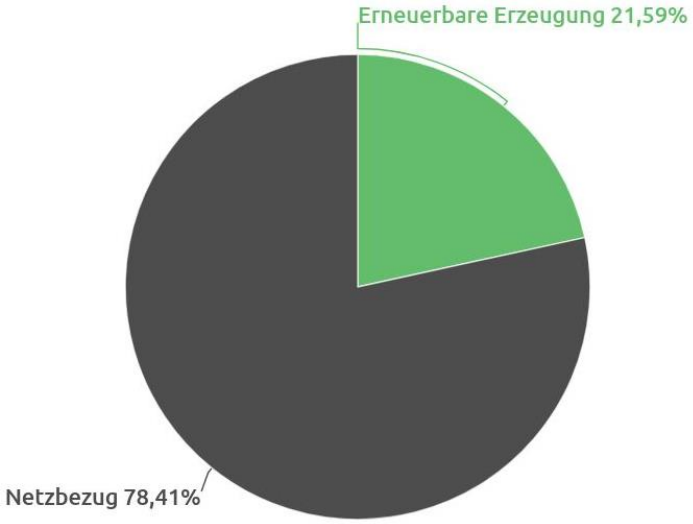


Abbildung 4-1: Anteil des in Schwaigen erneuerbar erzeugten Stroms am Gesamtstrombezug.

Insgesamt liegt das weitere Potenzial in Schwaigen für erneuerbare Energien im Sektor Strom bei **1.962 MWh**. Dabei ergeben sich für den Ausbau im Strombereich anhand der ermittelten Energiepotenziale für die verschiedenen Energieträger prinzipiell folgende Handlungsoptionen (Abbildung 4-2):

PV-Dach: Erhebliches Potenzial besteht für den weiteren Ausbau von PV-Anlagen auf Dachflächen. Bei vollständiger Erschließung der Hälfte aller für PV geeigneten Dachflächen kann der erneuerbare Anteil beim Strom um **1.353 MWh/a** erhöht werden. Für Schwaigen bietet diese Technologie folglich das größte Ausbaupotenzial. Eine

bedarfsorientierte Anlagendimensionierung, wie es i.d.R. wirtschaftlich geboten ist, steht der vollen Ausschöpfung dieses Potenzials allerdings entgegen.

PV-Freifläche: Es sind keine Flächen, die nach §48 Abs. 1 Nr. 3 c (EEG 2017) als PV-Freiflächen in Frage kommen würden, vorhanden.

Biogas: Theoretisch besteht bei einer vollständigen Nutzung der in Schwaigen anfallenden Gülle- und Festmistmengen ein Erzeugungspotenzial für ca. **609 $MWh_{el.}$ /a**. Aufgrund der logistischen Gegebenheiten ist die Erschließung dieses Potenzials schwierig. Die Nutzung des Pferdemists könnte in einer klein dimensionierten Biogasanlage interessant sein.

Wind: Auf dem Gemeindegebiet von Schwaigen existiert ein möglicher Standort für Windenergie. Bei den dort gegebenen Windgeschwindigkeiten und Volllaststunden ergibt sich mit zwei Anlagen ein Erzeugungspotenzial von **9.000 MWh** Strom pro Jahr.

Wasser: Am Lahnewiesgraben könnte die Möglichkeit der Wasserkraftnutzung geprüft werden. Mit dem vorhandenen Gefälle und Ablussmengen könnte eine Anlage mit knapp 29 kW betrieben und so rund **140 MWh** Strom pro Jahr erzeugt werden. Die Erschließung des Potenzials könnte sich allerdings aufgrund der Genehmigungspflicht beim zuständigen Wasserwirtschaftsamt als schwierig erweisen.

Mit Bezug auf den aktuellen Stromverbrauch in Schwaigen verdeutlicht Abbildung 4-2, dass innerhalb des Gemeindegebiets genügend Potenziale vorhanden sind, um eine vollständige Deckung des derzeitigen Netzabsatzes durch erneuerbare Energien zu erreichen. Das größte realistisch erschließbare Potenzial und damit Handlungsmöglichkeiten ergeben sich bei PV-Aufdach-Anlagen. Insofern liegt einer der Schwerpunkte bei der Maßnahmenentwicklung zum Energienutzungsplan Schwaigen auf der Errichtung von PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften.

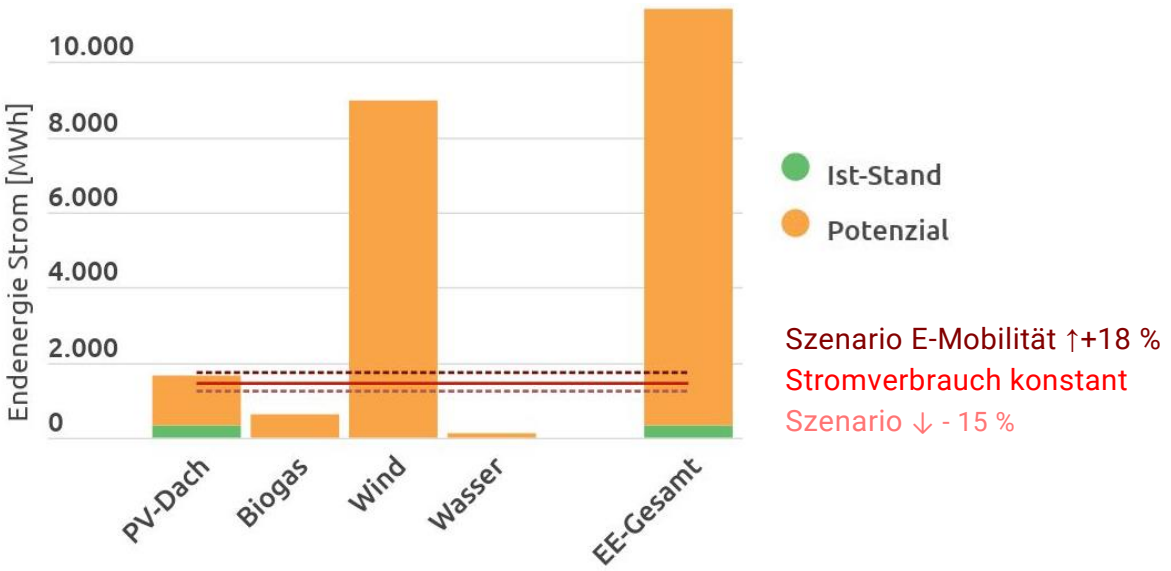


Abbildung 4-2: Ist-Stand und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung in Schwaigen.

4.1.2 Wärme

Angesichts des hohen Wärmebedarfs und dem hohen fossilen Anteils (69,3 %) bei der Wärmebereitstellung in Schwaigen ist hier der Handlungsbedarf als besonders hoch einzustufen (Abbildung 4-3). Den größten Beitrag zum erneuerbaren Anteil von insgesamt 30,7 % trägt insbesondere die Biomasse mit 92 % in Form von Energieholz bei. 6,1 % des Wärmebedarfs wird durch Solarthermie gedeckt, 1,9 % durch oberflächennahe Geothermie.

Entscheidend für die lokale Energiewende in Schwaigen sind somit Fortschritte im Wärmesektor. Im Jahr 2016 lag der Nutzwärmebedarf bei insgesamt 5.728 MWh. Die Zusammenfassung der erneuerbaren Energiepotenziale in Abbildung 4-4 zeigt, dass in Schwaigen verschiedene Handlungsoptionen zum Ausbau des erneuerbaren Wärmeanteils existieren. Mit der vollständigen Ausschöpfung der Potenziale für erneuerbare Wärmeerzeugung wäre es möglich, den gesamten derzeitigen Wärmebedarf in Schwaigen aus erneuerbaren Energieträgern zu erzeugen.

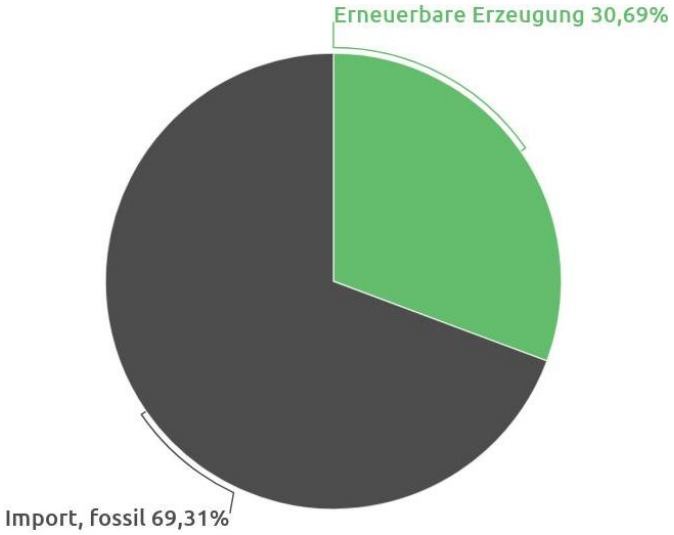


Abbildung 4-3: Erneuerbarer und fossiler Anteil der Wärmeversorgung im Jahr 2016 in Schwaigen.

Solarthermie: Prinzipiell ein sehr großes Ausbaupotenzial besteht in Schwaigen für Solarthermie. Zwar stehen mit der Dachlandschaft in Schwaigen genug geeignete Dachflächen zur Verfügung, um etwa **1.298 MWh/a** Wärme zusätzlich durch Solarthermie-Anlagen bereitzustellen, davon wirtschaftlich darstellbar ist jedoch nur ein Bruchteil. Für eine Realisierung dieses Potenzials ist die unabhängige Initiative sehr vieler Akteure notwendig. Insgesamt kann derzeit kein entscheidender Trend beim Zubau von Solarthermieanlagen verzeichnet werden.

Holz: Die Gemeinde Schwaigen verfügt über große Forstflächen. Als teilweise schwierig erweist sich die Erschließung und Bewirtschaftung der Bergwaldflächen. Trotzdem können aus den Staats- und Privatwaldflächen auf dem Gemeindegebiet von Schwaigen durch

nachhaltige Waldbewirtschaftung zusätzlich **2.781 MWh/a** Wärme gewonnen werden. Die besten Chancen zur Nutzung dieses Potenzials stellen größere Wärmeinseln in Gemeindebereichen mit hohem Wärmebedarf dar. Aufgrund des hohen Flächenanteils des Staatswaldes wäre ein Liefervertrag mit den Bayerischen Staatsforsten für Hackschnitzel sinnvoll.

Oberflächennahe Erdwärmesysteme: In der Gemeinde Schwaigen haben diese Systeme durchaus Potenzial – vor allem im Neubaubereich bzw. zur Deckung von Heizwärmebedarf mit relativ niedrig benötigtem Temperaturniveau (z.B. Fußbodenheizung). Die Nutzung von Erdwärmekollektoren ist im gesamten Siedlungsgebiet möglich, Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen beschränken sich aufgrund (hydro-) geologischer Gegebenheiten auf den Ortsteil Grafenaschau. Das entsprechende Ausbaupotenzial, welches anhand der Ausbaurate der vergangenen 10 Jahre ermittelt wurde, kann bis zum Jahr 2035 mit etwa **135 MWh/a** beziffert werden.

Tiefengeothermie: Die hydrogeothermalen Eigenschaften im Raum Schwaigen lassen keine Nutzung von Erdwärme aus tiefen Erdschichten (400 – 5.000 m) zu.

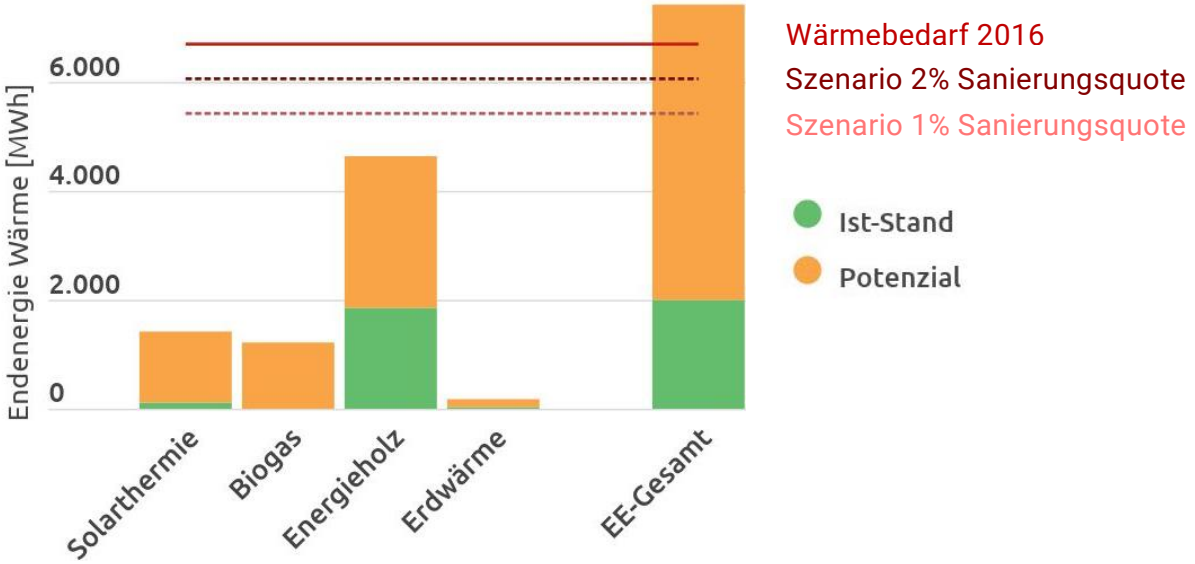


Abbildung 4-4: Ist-Stand (2016) und Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung in Schwaigen.

Es bleibt festzuhalten, dass eine bilanzielle Deckung des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien nur durch eine erhebliche Reduktion des Wärmebedarfs realisierbar ist (Abbildung 4-4).

Wärmenetze als zentraler Baustein der Energiewende

Aus Sicht der Energiewende sind Wärmeverbundsysteme eine Chance viele Verbrauchsstellen mittels erneuerbarer Energien zu versorgen. Die Realisierung eines Wärmenetzes auf Basis von Holz ist somit stets ein deutlicher Beitrag zum Klimaschutz sowie zur Erreichung der gesetzten Klimaziele. Die Brennstofflieferung und Wartung sind zentral

organisiert, sodass ein sehr effizienter Betrieb gewährleistet werden kann. Die geltenden Immissionsschutzgrenzwerte können dank neuester Technologien durch eine zentrale Wärmeversorgung deutlich unterschritten werden und liegen oftmals unterhalb der Staubimmissionen, welche durch holzbefeuerte Einzelfeuerungsanlagen generiert werden.

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

Abbildung 4-5: Vor- und Nachteile von Wärmenetzen aus erneuerbaren Energien.

Die jeweiligen Rahmenbedingungen einschließlich der Voraussetzungen zur Erschließung von Nahwärmenetzen sind ausführlich im Maßnahmenteil des Energienutzungsplanes Schwaigen erläutert.

4.1.3 Ausbauszenario Erneuerbare Energien

Anhand der dargestellten Energiepotenziale sind wie folgt die möglichen Entwicklungspfade für die Wärme und Stromversorgung in Schwaigen erläutert. Diese Zukunftsszenarien haben nicht den Anspruch eine Zukunftsprognose abzugeben, sondern sie stellen - unter Berücksichtigung der auf dem Gemeindegebiet von Schwaigen verfügbaren Potenziale - mögliche Entwicklungen dar.

4.1.3.1 Strom

In Bezug auf die künftige Entwicklung des Strombedarfs wird angenommen, dass dieser in etwa gleich bleibt. Steigerungen in der Energieeffizienz werden zum einen durch das zu erwartende Bevölkerungswachstum und zum anderen durch den Ausbau der E-Mobilität neutralisiert. Fahren 25 % der derzeit gemeldeten PKWs (347) in Schwaigen zukünftig elektrisch, entspricht dies einem zusätzlich benötigten Netzabsatz von 260 MWh/a. Diese mögliche Entwicklung des Strombedarfs wird in

Abbildung 4-6 als „Szenario E-Mobilität“ dargestellt. Wie die Situation bei abnehmendem Strombedarf aussieht, zeigt das „Szenario -15 %“. Nach diesem Szenario läge der Stromverbrauch im Jahr 2035 bei 1.239 MWh/a.

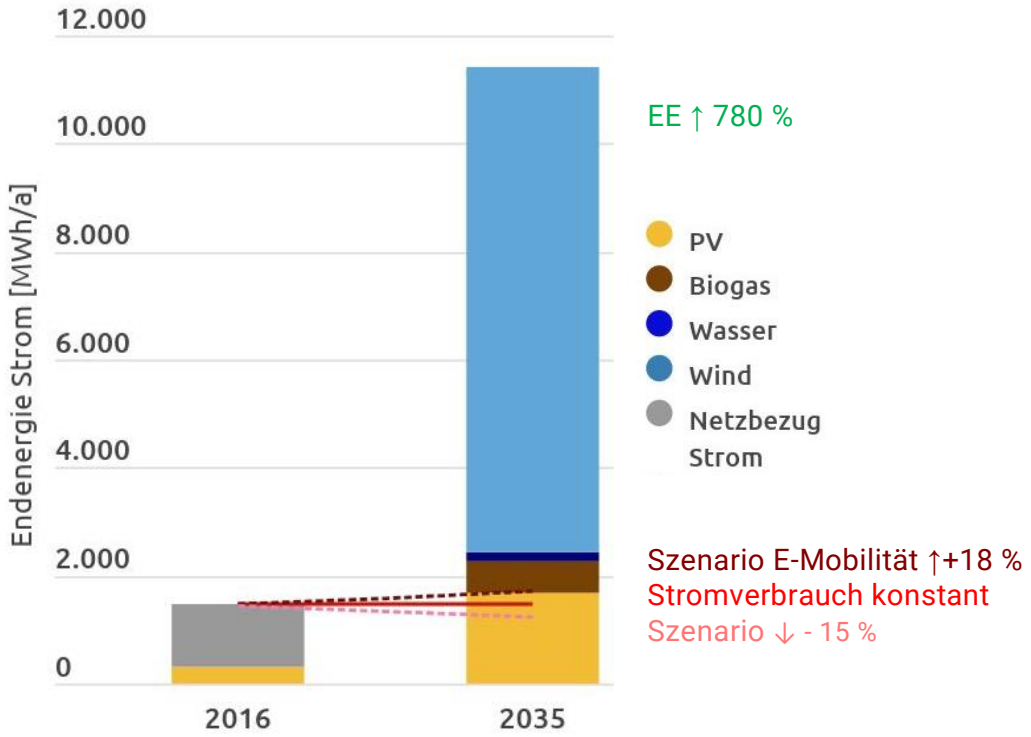


Abbildung 4-6: Mögliches Strom-Szenario bis 2035 in Schwaigen.

In Abbildung 4-6 ist ebenso die mögliche Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen unter Ausschöpfung der ermittelten Potenziale bis zum Jahr 2035 dargestellt. In Anbetracht der schnellen Amortisierungsdauer und den immer weiter sinkenden Investitionskosten für PV-Module ist eine Ausschöpfung des Potenzials für PV-Aufdach-Anlagen in Schwaigen umsetzbar. Darüber hinaus ist ebenfalls die Erschließung der Biogaspotenziale aus dem vorhandenen Nutztierbestand möglich. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Stromversorgung aus 100 % erneuerbarem Strom bis 2035 möglich ist. Im Falle der Nutzung des Windkraftpotenzials würde die Erzeugung den Strombedarf deutlich übersteigen.

4.1.3.2 Wärme

Abbildung 4-7 zeigt eine mögliche Wärmeversorgung in Schwaigen, bei dem die nach derzeitiger Umsetzbarkeit möglichen Potenziale realisiert werden.

Insgesamt wird dabei von einem sich stückweise reduzierten Wärmebedarf ausgegangen, welcher durch energetische Sanierung (Sanierungsquote 2 % pro Jahr) und einer hohen Wärmeeffizienz im Neubau erreicht wird. Der Gebäudewärmeverbrauch im Jahr 2035 könnte damit für Schwaigen bei 4.560 MWh liegen.

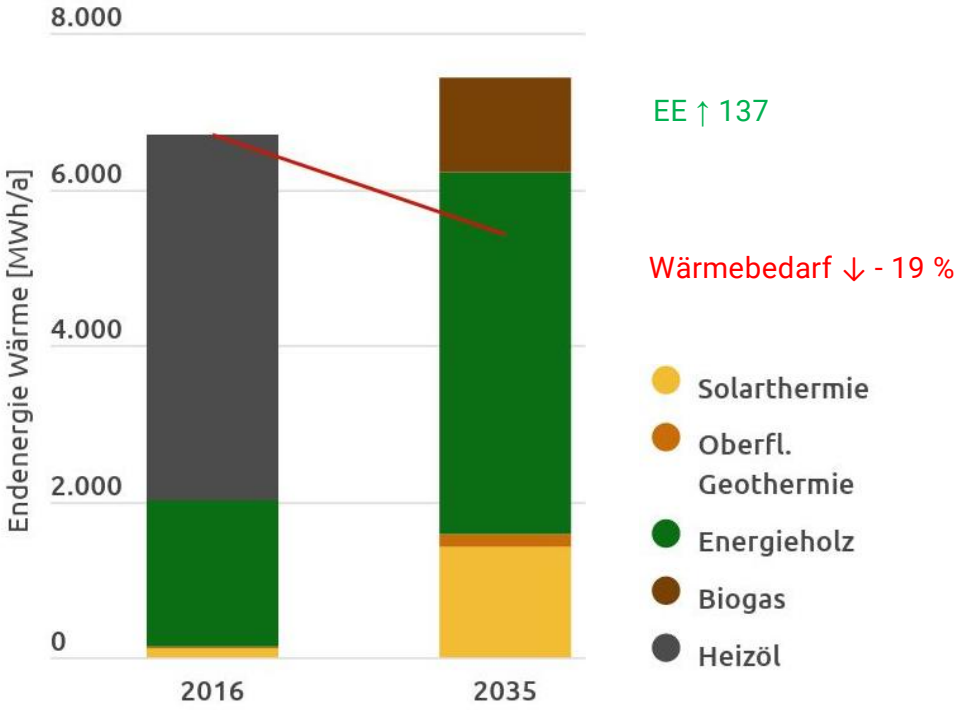


Abbildung 4-7: Mögliches Wärme-Szenario 2035 in Schwaigen.

Zentraler Baustein des Ausbaus regenerativer Energien im Wärmesektor ist der Einsatz erneuerbarer Brennstoffe. Dem Energieträger Holz mit seinen vielfältigen Einsatzmöglichkeiten kommt hier eine entscheidende Rolle zu. Der in Abbildung 4-7 skizzierte Ausbau kann so nur gelingen, wenn ein Großteil des zusätzlichen Energieholzpotenzials in hackschnitzelbasierten Wärmeverbundlösungen genutzt wird. Ebenso als Nutzung in Form eines Wärmeverbundes kann die Erschließung des Biogaspotenzials aus dem Nutztierbestand einen wichtigen Beitrag leisten. Elementar ist zudem die Erschließung des Großteils der Potenziale der Solarthermie, sowie der Nutzung oberflächennaher Geothermie für Neubauten. Das Szenario zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen eine vollständige Substitution des Energieträgers Öl durch Reduzierung des Wärmebedarfs und des Ausbaus erneuerbarer Energien bis 2035 vollständig realisierbar ist.

4.1.3.3 Chancen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

Die für den Klimaschutz entscheidende Frage ist, wie es gelingen kann, die klimaschädlichen Treibhausgasemissionen signifikant zu reduzieren. Aktuelle Studien gehen davon aus, dass das noch zur Verfügung stehende globale Treibhausgasbudget - also die maximale Menge an CO_2, welche noch ausgestoßen werden darf, um die globale Erderwärmung unter dem kritischen Wert von 2°C zu halten – stetig kleiner wird (Friedlingstein u. a. 2014; Rogelj u. a. 2016).

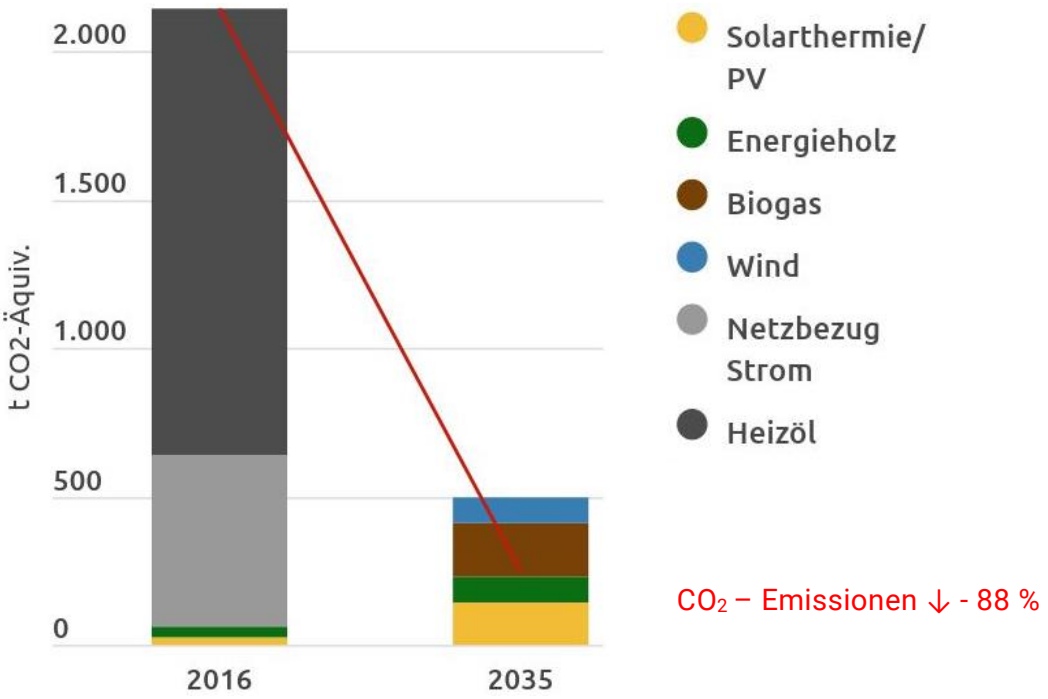


Abbildung 4-8: CO_2 - Emissionen bei Realisierung der Strom- und Wärmeszenarien 2035 in Schwaigen.

Derzeit werden in Schwaigen alleine zur Bereitstellung von Energie in Form von Wärme und Strom gut 2.100 t CO_2-Äquivalente pro Jahr in die Erdatmosphäre emittiert, das entspricht 3,4 t/EW. Abbildung 4-8 zeigt, welche Auswirkung die beschriebenen Strom- und Wärmeszenarien auf die Treibhausgasemissionen in Schwaigen hätten. Demnach lassen sich die derzeitigen CO_2-Emissionen um rund 88 % auf 248 t CO_2-Äquivalente pro Jahr reduzieren. Aus Abbildung 4-8 wird zudem ersichtlich, dass eine rasche Substitution des Energieträgers Öl durch erneuerbare Brennstoffe im Sinne des Klimaschutzes am wirksamsten ist. Dies ist somit die wichtigste Grundvoraussetzung, um die CO_2-Emissionen in Schwaigen signifikant zu reduzieren. Aus überschüssigen Strommengen könnte perspektivisch gesehen die industrielle Erzeugung von flüssigen oder gasförmigen Energieträgern erfolgen und so langfristig ebenso zum Klimaschutz beitragen. Sog. Power-to-Gas Anlagen erzeugen beispielsweise aus Wasserstoff, der sehr gut lager- und transportfähig ist.

4.2 Wirtschaftliche Bewertung EE-Ausbau

Werden die Kosten für die erzeugte Wärme im Mix der derzeitigen Wärmeerzeuger mit 70 Euro/MWh angesetzt, so werden in Schwaigen derzeit 470.000 € jährlich für die Wärmebereitstellung ausgegeben. Bei einem durchschnittlichen Strompreis über alle Nutzergruppen von 230 €/MWh wird Strom für 335.000 € eingekauft (Abbildung 4-9).

Insgesamt entstehen für Schwaigen somit jährliche Gesamtenergiekosten in Höhe von 804.000 € für den Bezug von Wärme und Strom. Ein weiterer Ausbau der regenerativen Energien reduziert langfristig diese Kosten und generiert mehr regionale Wertschöpfung. Städte und Gemeinden sind wichtige Treiber beim Ausbau erneuerbarer Energien (EE) und können gleichzeitig in relevantem Umfang Profiteure sein. Denn es werden durch den Ausbau der EE bisher importierte Energierohstoffe oder Endenergien durch heimische Energiequellen, Technologien und Dienstleistungen ersetzt. Außerdem finden eine Reihe von Wertschöpfungsschritten in den Kommunen selbst statt, die dort positive regionalwirtschaftliche Ausstrahlungseffekte mit sich bringen können (Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung 2010).

Abbildung 4-9: Summe der Gesamtkosten 2016 für Wärme und Strom in Schwaigen.

Um den Ausbau der in den vorausgehenden Kapiteln beschriebenen Potenziale der regenerativen Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung bis 2035 zu realisieren, wären in den kommenden 20 Jahren Investitionen von rund 12,8 Mio. € erforderlich. Der Hauptanteil mit über 55 % würde davon auf die Windenergie entfallen, gefolgt von Energieholz mit rund 17 %. 14 % der Investitionskosten würde die Photovoltaik ausmachen, Solarthermie und Biogas jeweils rund 6 %.

Eine Gegenüberstellung der Umsätze für die regionale regenerative Energieerzeugung heute und dem zuvor dargestellten möglichen Ausbau bis 2035 ist in Abbildung 4-10 dargestellt. Demnach ist durch die Energiewende ein sehr hohes Potenzial zur Steigerung an regionaler Wertschöpfung vorhanden (gemäß EE-Ausbauszenario Kapitel 4.1). Insgesamt lässt sich der lokale EE-Umsatz durch den skizzierten Ausbau erneuerbarer Energien mehr als verzehnfachen.

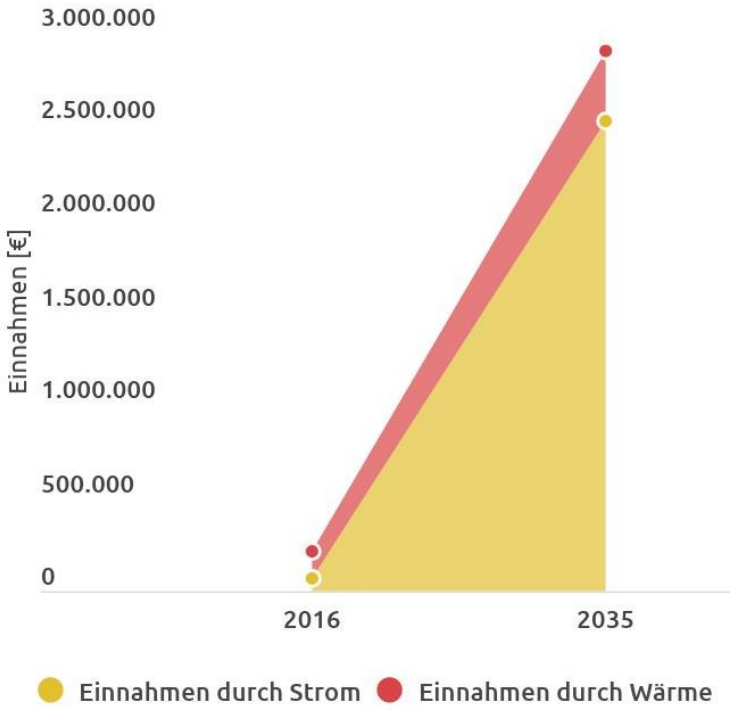


Abbildung 4-10: Regionale Wertschöpfung 2016 und entsprechend der Szenarien 2035 durch erneuerbare Energien.

5. Maßnahmenvorschläge für Schwaigen

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

Die Wirtschaftlichkeitsbewertungen erfolgen dabei in Anlehnung an die VDI 2067 (Verein Deutscher Ingenieure 2012). So sind die jährlich zu erwartenden Einsparungen bzw. Erträge den laufenden jährlichen Ausgaben gegenübergestellt. Eine Investition ist immer dann vorteilhaft, wenn sich ein positiver Überschuss aus den jährlichen Einnahmen und Ausgaben ergibt. Es wurde den Berechnungen ein Kalkulationszinssatz von 3 % zu Grunde gelegt. Für die Finanzierung der Maßnahmen wird jeweils ein Kredit aufgenommen, welcher in Form eines Annuitätendarlehens jährlich getilgt wird. Aus Vereinfachungsgründen und weil Preisprognosen mit hohen Unsicherheiten verbunden sind, wurden weder Preis- noch Zinsentwicklungen berücksichtigt.

Die Wirtschaftlichkeitsanalysen für PV-Anlagen sind im Folgenden stets so ausgelegt, dass ein möglichst hoher Eigenstromverbrauch erzielt wird. Die genaue Ertragsrechnung, sowie die Berechnung von Wirtschaftlichkeit, Eigenverbrauch und Kosten im Rahmen des Energienutzungsplanes wurde mit der Software *PV*Sol premium* ermittelt (Details dazu im Anhang 2).

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

Insgesamt sind im Folgenden für die Gemeinde elf Maßnahmenvorschläge ausgearbeitet. Davon betreffen drei Maßnahmen unmittelbar die "**kommunalen Liegenschaften".** Dem Bereich „**Wärmeverbundnetze**" ist die Maßnahme „Dorfheizung" zuzuordnen. Als „**Maßnahmen für Bürgerinnen und Bürger"** und als „**Sonstige Handlungsmöglichkeiten der Gemeinde"** werden jeweils drei Handlungsvorschläge aufgeführt. Eine Übersicht über alle Maßnahmen ist in Kapitel 5.6 aufgelistet.

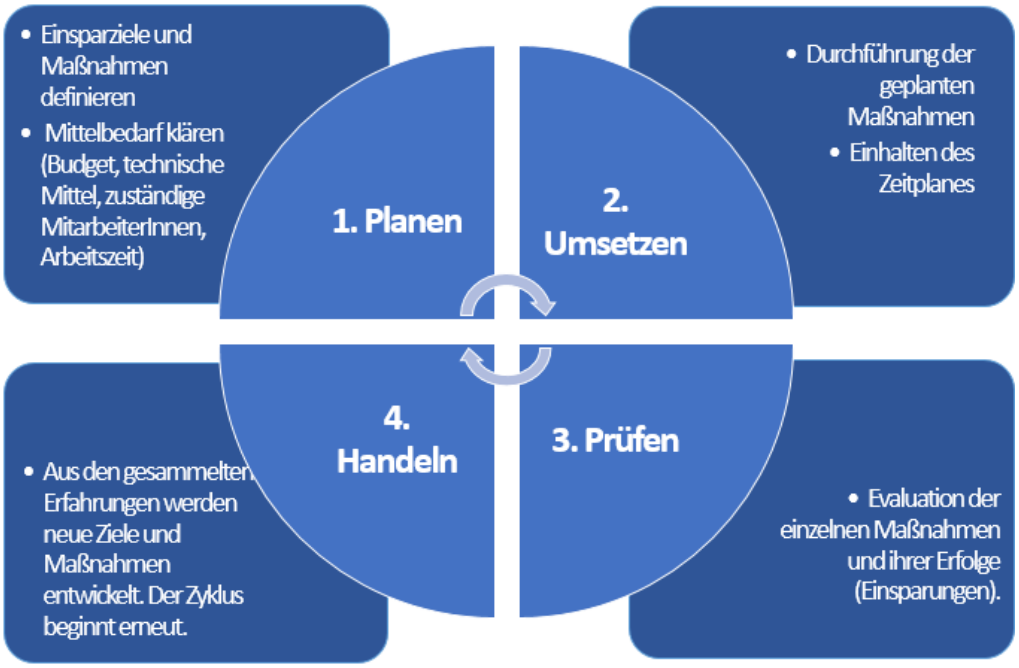


Abbildung 5-1: Ablaufschema bei der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen.

5.1 Kommunale Liegenschaften

Mit der Realisierung der im Folgenden dargestellten Maßnahmen für die kommunalen Liegenschaften kann die Gemeinde Ihrer Vorbildfunktion in Sachen Klimaschutz und Ressourceneffizienz gerecht werden. Wo möglich, wurden die mit der Maßnahme verbundenen Investitionskosten berechnet.

Die folgenden dargestellten Maßnahmen sind dabei nach Liegenschaften gegliedert. Es liegen Maßnahmenvorschläge für folgende Liegenschaften vor:

- Dorfladen
- Mehrzweckhalle
- Pumpstation

5.1.1 PV – Anlage Dorfladen

		Kurzfristig	
Amortisierungs-dauer: 7 Jahre	**Investitionskosten:** 13.860 €	**CO_2-Einsparpoten-zial:** 6,9 t/a	**Primärenergie-Ein-sparung:** 18,1 MWh/a

Die nach Osten und Süden gerichteten Dachflächen des Dorfladens eignen sich gut, um eine 10 kW_p – Anlage zu installieren. Beim derzeitigen Stromverbrauch und Lastprofil würde der Eigenverbrauchsanteil bei 87 % liegen, womit sich die Anlage nach 7 Jahren amortisiert. Mit Stromgestehungskosten von 0,09 €/kWh ist der Strom aus der PV-Anlage

Abbildung 5-2: PV-Anlage aud dem Dach des Dorfladens.

um mehr als 50 % günstiger als Strombezug aus dem öffentlichen Netz mit rund 0,22 €/kWh. Das CO_2-Einsparpotenzial liegt im Vergleich zum Bundesstrommix bei 6,9 t/a.

Da es aber aufgrund rechtlicher Vorgaben nicht möglich ist, dass die Gemeinde, als Eigentümerin des Gebäudes, Strom an den Dorfladen verkauft, könnte die Dachfläche an die Betreiber des Dorfladens verpachtet werden. Dadurch wären diese ebenso die Betreiber der PV-Anlage und könnten somit ihren eigenen Strom beziehen.

5.1.2 PV - Anlage Mehrzweck-halle

		Kurzfristig	
Amortisierungs-dauer: 10 Jahre	Investitionskosten: **13.860 €**	CO_2-Einsparpotenzial: **2,1 t/a**	Primärenergie-Ein-sparung: **6,1 MWh/a**

Abbildung 5-3: PV-Anlage auf der Mehr-zweckhalle.

Das nach Süden ausgerichtete Dach der Mehrzweckhalle eignet sich sehr gut zur Installation einer PV-Anlage. Das an die Mehrzweckhalle angrenzende Feuerwehr-gebäude könnte mitversorgt werden, was den Eigenstromverbrauch und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht. Bei einer Leistung von 10 kWp und den derzeitigen Stromverbräuchen von Mehrzweckhalle und Feuerwehr würde der Eigenverbrauch 28 % betragen. Mit Stromgestehungskosten von 0,09 €/kWh ist der Strom aus der PV-Anlage um mehr als 50 % günstiger als Strombezug aus dem öffentlichen Netz mit rund 0,22 €/kWh. Die Amortisierungsdauer liegt damit bei 10 Jahren. Im Vergleich zum Bundesstrommix beträgt das CO_2-Einsparpotenzial 7,2 t/a.

5.1.3 PV - Anlage Pumpstation „Smart Flower“

Kurzfristig			
Amortisierungs-dauer: > 20 Jahre	Investitionskosten: **15.600 €**	CO_2-Einsparpotenzial: **2,1 t/a**	Primärenergie-Ein-sparung: **6,1 MWh/a**

Die Abwasserpumpstation an der Aschauer Straße hat mit 11.700 kWh pro Jahr einen relativ hohen Stromverbrauch. Da die Dachfläche des Gebäudes jedoch zu klein ist um darauf eine PV-Anlage in ausreichender Größe zu installieren, könnte daneben eine „Smart Flower“ als mobile PV-Anlage als Ergänzung errichtet werden. Die „Smart Flower“ besteht aus mehreren Modulen und fächert sich auf, sobald Sonneneinstrahlung vorhanden ist. Die Modulfläche beträgt aufgefächert rund 18 m². Durch die Nachführung der Module entsprechend dem Sonnenstand kann zu jeder Tageszeit der maximale Ertrag erzielt werden. In den Sockel ist ein 2,3 kWh Speicher eingebaut. Knapp 30 % des Stromverbrauchs könnten somit gedeckt werden. Im Vergleich zum derzeitigen Bundesstrommix würde das CO_2-Einsparpotenzial bei 2,1 t/a und die Primärenergieeinsparung bei 6,1 MWh/a liegen. Eine solche mobile PV-Anlage direkt an der Aschauer Straße hätte zudem eine hohe Öffentlichkeitswirkung.

Abbildung 5-4: Aufgefächerte "Smart Flower" (https://smartflower-germany.de/pop/).

Vor Errichtung einer mobilen PV-Anlage ist zu prüfen, ob eine Bauanzeige oder Baugenehmigung benötigt wird. In der Regel reicht jedoch eine Mitteilung eines Verfahrensfreien Vorhabens gem. Art. 57 BayBO.

5.2 Dorfheizung Grafenaschau

Die Potenziale der Gemeinde zur regenerativen Wärmeversorgung liegen im Wesentlichen in der Nutzung von Energieholz.

Die Installation von Hackschnitzelkesseln in Einfamilienhäusern ist sowohl aus Platzgründen als auch vom Investitionsvolumen her nicht sinnvoll. Eine gemeinschaftlich genutzt Biomasse-Heizzentrale könnte ein Wärmenetz beschicken, das mehrere Gebäude mit Wärme versorgt. Dazu ist ein geeigneter Standort erforderlich. Die zu versorgenden Häuser sollten nicht zu weit voneinander entfernt liegen, damit sich die Leitungsverluste in Grenzen halten. Im Wärmekataster (Abbildung 5-5) wird ersichtlich, dass sich der Bereich entlang der Birkenallee gut für diese Maßnahme eignet.

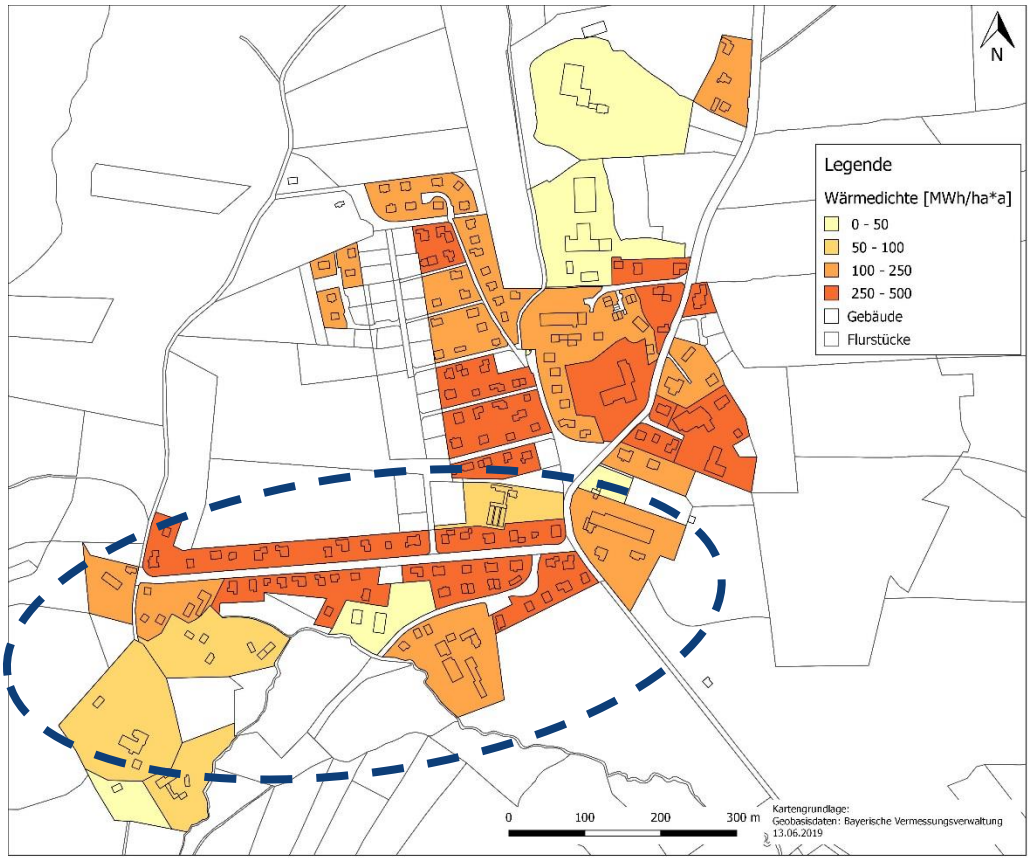


Abbildung 5-5: Wärmedichtekarte von Grafenaschau. Die blaue Ellipse zeigt den Bereich entlang der Birkenallee.

Inklusive der Gebäude am westlichen Ende des Straßenzuges könnte jährlich eine Wärmemenge von 2.000 MWh geliefert werden. Im gesamten Gemeindegebiet wurde eine Befragung durchgeführt, welche Gebäudeeigentümer sich grundsätzlich für einen Anschluss an eine zentrale Dorfheizung interessieren. Insgesamt liegen bisher 80 Antworten vor. Entlang der 800 m langen Haupttrasse an der Birkenallee bekundeten von den 42 Hausbesitzern mehr als 80 % ihr Interesse an einem Wärmeanschluss. Im Vergleich zur derzeitigen Wärmeversorgung könnten durch einen solchen Wärmeverbund 400 Tonnen CO_2 pro Jahr eingespart werden.

Wirtschaftlichkeit

Selbstverständlich sollte die aus einem Wärmenetz zur Verfügung gestellte Energie mit der herkömmlichen Wärmeversorgung wirtschaftlich konkurrenzfähig sein. Dabei ist zu beachten, dass nicht die Brennstoffkosten mit den Kosten für die Wärmelieferung verglichen werden. Zur Vollkostenrechnung gehören neben den Aufwendungen für Wartung und Unterhalt auch die Bildung von Rücklagen oder die Abschreibung der Anlagentechnik.

Bei den derzeitig relativ niedrigen Kosten für Öl und Gas ist dies oftmals schwer zu erreichen. Mit den Regelungen aus dem aktuellen Klimapaket zur zukünftigen Besteuerung von CO_2 – Emissionen könnte sich der Energieträger Holz als sehr vorteilhaft darstellen. Verglichen werden hier Einzelanlagen (Ölheizung, Gasheizung, Wärmepumpe) für jeweils ein

Gebäude mit einer zentralen vorwiegend auf Hackschnitzel basierenden Wärmeversorgung. Mit einer Steuer je ausgestoßener Tonne Kohlendioxid von 25,- € ab dem kommenden Jahr, die bis 55,- € im Jahr 2025 ansteigt, ergibt sich für die Vollkostenrechnung folgender Wärmepreis:

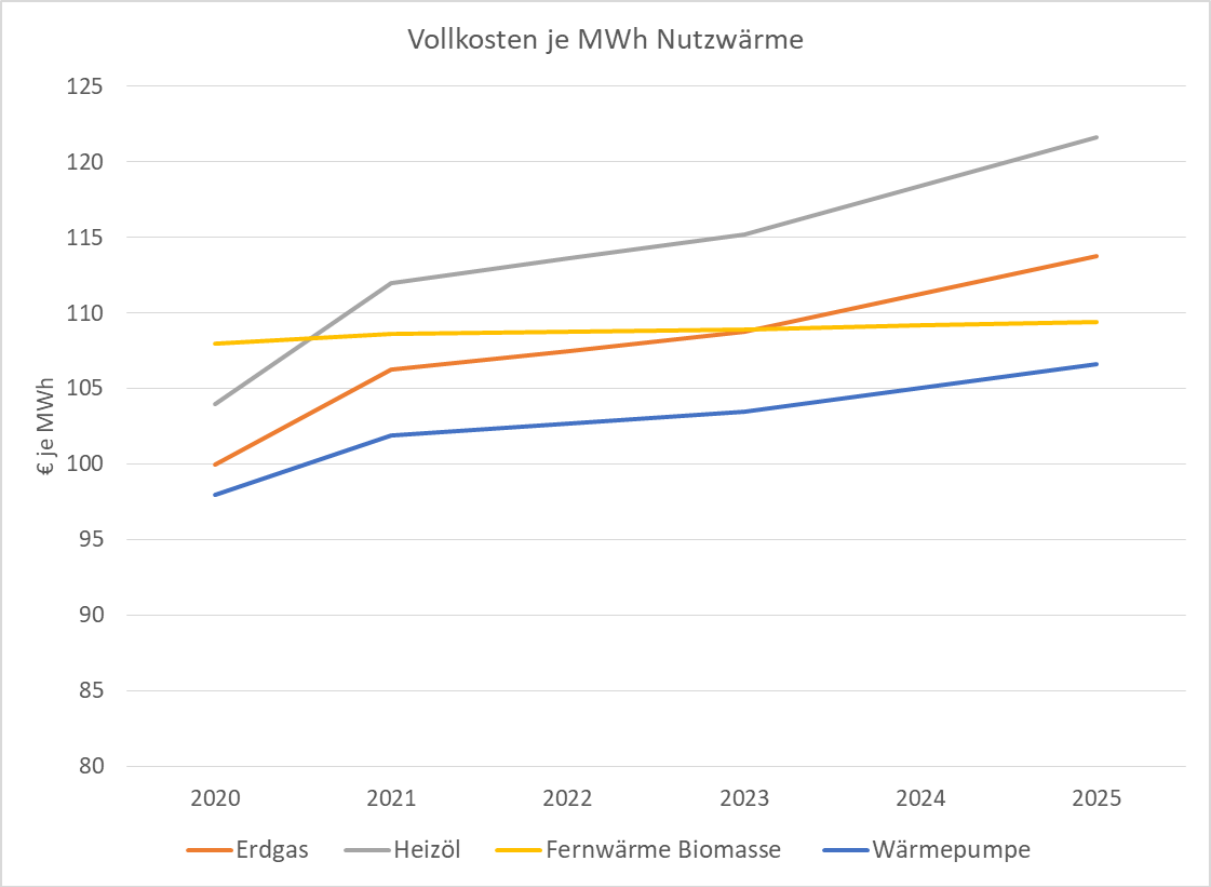


Abbildung 5-6: Vergleich der Vollkosten je MWh Nutzwärme für unterschiedliche Energieträger (Eigene Berechnung nach: C.A.R.M.E.N. e.V. 2019).

Die günstigen Kosten beim Betrieb einer Wärmepumpe ergeben sich nur, wenn ein hoher Anteil des Strombedarfs durch eine eigene PV-Anlage gedeckt wird. Zudem sind niedrige Vorlauftemperaturen im Heizsystem für eine effiziente Arbeitsweise erforderlich. Dies ist in den meisten Bestandsgebäuden des Erschließungsgebiets nicht der Fall.

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Dorfheizung ist entscheidend, dass ein Wärmenetz nur in den Bereichen errichtet wird, wo ausreichend Wärme geliefert werden kann. Die reine Versorgung von Neubaugebieten empfiehlt sich daher nicht, da neue Häuser wenig Heizenergie benötigen. Für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit ist die sog. Wärmebelegungsdichte in kWh pro Jahr und Trassenmeter entscheidend. Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle fördert nur Netze, die einen Wert über 0,5 MWh/m*a nachweisen können. Bei einer Haupttrasse von 800 m und 630 m Anschlussleitungen zu den jeweiligen Gebäuden sind also in Summe 1.430 m Wärmeleitung zu verlegen. Dafür müsste pro Jahr eine Wärmemenge von mind. 715 MWh an die Übergabestationen aller

angeschlossenen Häuser geliefert werden. Bei einer Anschlussquote von 80 % der Einfamilienhäuser sowie den beiden großen Liegenschaften läge die zu erzeugende Wärmemenge bei ca. 1.100 MWh pro Jahr. Abzüglich eines Wärmeverlustes von maximal 15 % im Wärmenetz könnte also eine Wärmemenge von ca. 935 MWh pro Jahr geliefert werden. Die Wärmebelegungsdichte läge somit ca. bei 0,65 MWh/m*a. Als Förderung werden derzeit 60,- € pro Trassenmeter sowie 1.800,- € für jede Übergabestation in Aussicht gestellt. Zuschläge von 30 % aus dem Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE) können zusätzlich beantragt werden.

Organisationsform

Bevor über mögliche Standorte, Dimensionierung einer Heizzentrale oder Wärmepreise diskutiert wird, muss die Organisationsform der Betreibergesellschaft geklärt werden. Wünschenswert wäre eine Beteiligung der bayerischen Staatsforste, da sie Eigentümer eines Großteils der Waldgebiete vor Ort sind. Somit fallen erhebliche Mengen an Waldrestholz an, die bisher abtransportiert werden müssen. Ferner sollte die Gemeinde Schwaigen beteiligt sein. Die Wärmetrasse wird im öffentlichen Grund verlegt. Vorgespräche haben ergeben, dass weitere Sparten wie z.B. der Breitbandausbau im Ort in Planung sind. Ebenso könnten Versorgungsleitungen im Trinkwassernetz neu verlegt werden.

Die Gemeinde als alleiniger Investor und Betreiber einer Dorfheizung ist tendenziell nicht zu empfehlen. Zwar bekommt eine Gemeindeverwaltung sehr günstige Kredite, die Vergabe von Aufträgen ist jedoch mittlerweile im öffentlichen Bereich mit hohen Hürden verbunden. Dies führt zwangsläufig zu hohem Verwaltungsaufwand sowie bei der derzeitigen Auftragslage im Handwerk und im Tiefbau zu wesentlich höheren Kosten als eine unmittelbare Vergabe durch eine Genossenschaft oder GmbH.

Dimensionierung

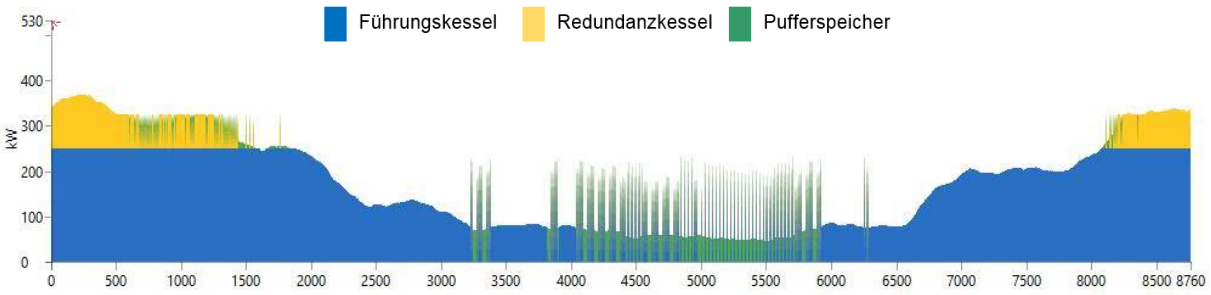


Abbildung 5-7: Jahresdauerlinie Dorfheizung Grafenaschau Birkenallee.

Die Dimensionierung der Heizzentrale erfolgt über die sog. Jahresdauerlinie. Aufgrund der Verbrauchsangaben bzgl. Wärme im Fragebogen lässt sich ermitteln, welche Heizleistung bei der Auslegungstemperatur von -14° C erforderlich ist. Im Verlauf eines Kalenderjahres wird in Abbildung 5-7 dargestellt, welche Heizlasten zu decken sind. In Summe ergibt sich ein rechnerischer Wert von ca. 530 kW als thermische Höchstlast.

Plant man eine Kesselanlage mit zwei gleichwertigen Biomassekesseln von je 250 kW so ergibt die blaue Fläche die Auslastung des Führungskessels und die gelbe Fläche die des Redundanzkessels. Um vorschnellen Verschleiß zu vermeiden, werden beide Kessel abwechselnd eingesetzt, lediglich bei starkem Frost sind beide im Einsatz. Die grünen Bereiche kennzeichnen den Wärmebezug aus den installierten Pufferspeichern.

Neue Wärmenetze werden so konzipiert, dass in möglichst jeder Verbrauchsstelle ein Pufferspeicher steht. Zum einen kann er vor Ort die hygienische Warmwasserbereitung über eine Frischwasserstation übernehmen, zum anderen können Lastspitzen im Wärmenetz und bei der Wärmeerzeugung vermieden werden. Dadurch werden kleinere Rohrquerschnitte und kleinere Wärmeerzeuger erforderlich, was Kosten vermeidet und die Effizienz steigert.

Planungsschritte und Logistik

Die Versorgung der Gebäude entlang der Birkenallee erfolgt in einem **ersten Bauabschnitt**. Selbstverständlich müssen bei der jetzigen Planung weitere Kundengruppen berücksichtigt werden: Die im Norden der Birkenallee geplanten Neubauten könnten selbstverständlich an die Heizzentrale angeschlossen werden ohne weitere Kapazitäten im Heizhaus vorzuhalten. Die weiteren Planungen am Grundstück des ehemaligen Lindenhofes können die Entwicklung der Dorfheizung stark beeinflussen. Sicherlich wird dort zukünftig ein größerer Wärmeabnehmer ansässig. Diesen gilt es frühzeitig über die Möglichkeit eines Wärmeanschlusses an die zentrale Biomasse-Heizung zu informieren. Sofern die Gemeinde Eigentümerin des Grundstücks wird, könnte in den Bebauungsplan ein Anschluss an das Wärmenetz verpflichtend festgeschrieben werden. Die weitere Nutzung des Geländes ist zeitlich noch nicht absehbar.

Der **zweite Bauabschnitt** könnte sich zeitlich an der zukünftigen Wärmeabnahme am ehemaligen Lindenhof orientieren. Zusätzlich könnte die Mehrzweckhalle und der Dorfladen angeschlossen werden, die derzeit über relativ neue Pelletheizungen verfügen. Mit Einbindung der Mehrzweckhalle könnte deren Heizzentrale zusätzlich Wärme ins Verteilnetz einspeisen.

Als möglicher Standort sind die Nebengebäude der bayerischen Staatsforste am Hansltrad 8 angefragt. Bei einem Vollausbau der Dorfheizung müssten im Winter zwei LKW-Ladungen angeliefert werden. Bereits jetzt werden die Zufahrten zu dieser Werkshalle von LKWs genutzt. Die maximalen Emissionen werden nach der wesentlich verschärften Änderung der Bundesimmissionsschutzverordnung im Jahr 2019 stark begrenzt, so dass keinerlei Belästigungen durch Rauch oder Staub zu erwarten sind.

Bei der Dimensionierung der Kesselanlagen sollte der zweite Bauabschnitt noch nicht berücksichtigt werden. Der Betrieb einer zu groß ausgelegten Hackschnitzelheizung führt zu hohen Stillstandsverlusten. Zwei Biomassekessel mit einer thermischen Leistung von je

250 kW werden in der Regel mit mindestens 30 Liter Puffervolumen je kW ausgestattet. Damit stünden zum Ausgleich von Lastspitzen 15 m³ Heizungswasser zur Verfügung. Zusätzliche Pufferspeicher in den Kundenanlagen können nochmals 40 m³ vorhalten. In diesen Dimensionen würden die beiden Kesselanlagen jeweils 2.200 Volllaststunden in Betrieb sein, dafür ist je nach Qualität der Hackschnitzel eine Menge von ca. 1.500 Schüttraummetern erforderlich.

Langfristige Perspektiven einer Dorfheizung

Sobald abzusehen ist, welcher Wärmebedarf mit der neuen Nutzung am ehemaligen Lindenhof besteht, können Schritte zur weiteren Entwicklung der Dorfheizung erwogen werden.

- Zum einen könnte wie oben beschrieben, die Pelletheizzentrale der Mehrzweckhalle und des Dorfladens in den Wärmeverbund integriert werden.
- Abhängig von der weiteren Entwicklung des EEGs und dessen Vergütungsmodellen könnte die Verstromung von Energieholz in den kommenden Jahren wieder wirtschaftlich interessant werden. Holzgasmotoren wurden bis zur Änderung des EEGs im Jahr 2014 verstärkt zur Stromerzeugung im ländlichen Raum genutzt. Mit der derzeitigen Vergütung sind sie nicht wirtschaftlich zu betreiben.
- Zum anderen sind mit der weiteren Umsetzung der Energiewende Projekte zur Gewinnung von Wasserstoff aus überschüssigem EE-Strom möglich. Diese Technologie der chemischen Speicherung von Energie könnte jahreszeitliche Schwankungen ausgleichen und mit der Rückverstromung im Winter eine zusätzliche Wärmequelle zur Verfügung stellen.

Wichtigster Schritt zur Umsetzung dieses Projekts ist die Gründung einer geeigneten und handlungsfähigen Betreibergesellschaft. Die Gemeinde Schwaigen kann zwar vorab Vorverträge für Wärmelieferungen mit Gebäudeeigentümern schließen, Pachtverträge zur Erstellung der Heizzentrale sowie Anträge für Fördermittel muss die Betreibergesellschaft jedoch selbst stellen.

5.3 Maßnahmen für Bürgerinnen und Bürger

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

5.3.2 Energiekarawane Schwaigen

Trotz hoher Energiepreise ist die erreichte Sanierungsquote bundesweit immer noch zu gering. Technisch-wirtschaftliche Sanierungspotenziale ganzer Straßenzüge liegen brach, sodass die Klimaschutzziele im Bereich Gebäudesanierung z.T. nicht erreicht werden.

Angebote zur kostengünstigen Energieberatung gibt es im Landkreis Garmisch-Partenkirchen bereits seit Jahren von der Verbraucherzentrale Bayern. Leider nehmen zu wenige Bürgerinnen und Bürger die Gelegenheit wahr, sich über Energiesparmaßnahmen zu informieren. Die Gründe dafür sind vielfältig: Der Aufwand für eine Sanierungsmaßnahme wird gescheut, weil damit Lärm, Schmutz und Stress einhergehen. Vielfach fehlen auch Informationen über die technisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen oder es mangelt an der Motivation, sich mit der Sanierung seines Hauses auseinanderzusetzen.

Ein Lösungsansatz: Die Energiekarawane

Die Mehrheit der Bürger erreicht man nur durch persönliche Ansprache. Zu diesem Zweck wurde die Energiekarawane entwickelt und bereits auch in einigen Kommunen im Oberland erfolgreich durchgeführt.

Dabei wird in der gesamten Gemeinde Schwaigen über einen Zeitraum von ca. zwei Monaten ein kostenloser Energiecheck angeboten. Die Anwohner werden jeweils persönlich angeschrieben und können über die Gemeindeverwaltung einen Termin mit zertifizierten Energieberatern der Verbraucherzentrale vereinbaren. Hauptaugenmerk liegt dabei auf Vierteln oder Siedlungen, die in den Jahren 1960 bis 1980 errichtet wurden. Gebäude dieser Baujahre sind meist nicht ortsbild-prägend oder denkmalgeschützt, zudem wurde beim Bau in der Regel noch wenig auf Energieeffizienz geachtet.

Die Energiekarawane wurde im Landkreis Garmisch-Partenkirchen bereits in einigen Gemeinden durchgeführt. 2019 stieß das Angebot beispielsweise in Ohlstadt auf rege Nachfrage.

Die Projektkosten dieser Aktion werden zu 90 % vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert, die verbleibenden 10 % übernimmt die Gemeinde. Die Kosten für die Kommune setzen sich zusammen aus 30 € für jede Beratung (ermöglicht durch die Förderung des Bundeswirtschaftsministeriums) sowie für Öffentlichkeitsarbeit und Durchführung von Veranstaltungen. Die Verbraucherzentrale stellt die Energieberater. Weitere organisatorische Unterstützung erhält die Gemeinde Schwaigen vom Klimaschutzbeauftragten des Landkreises und der Zugspitz Region GmbH.

Die Auswertung der Verbraucherzentrale über erzielte Energie- und CO_2-Einsparungen durch bundesweit durchgeführte Energiechecks liefern im Durchschnitt pro Check folgende Ergebnisse:

- 56.039 kWh Energieeinsparung über die gesamte Lebensdauer durch umgesetzte Maßnahmen 2 Jahre nach dem Check
- 22 t CO_2-Einsparung über die gesamte Lebensdauer durch umgesetzte Maßnahmen 2 Jahre nach dem Check
- 2.905 € Investitionen durch umgesetzte Maßnahmen 2 Jahre nach dem Check

Gebäudesanierung - verfahrensfreie Maßnahmen

Nach Art. 57 BayBO sind Bauvorhaben zur energetischen Sanierung, wie z.B. Maßnahmen zur nachträglichen Wärmedämmung an Außenwänden und Dächern, Abgasanlagen in und an Gebäuden und freistehende Abgasanlagen mit einer Höhe bis zu 10 m sowie alle sonstigen Anlagen der techn. Gebäudeausrüstung verfahrensfrei. Für Solaranlagen sind eine Genehmigung und bautechn. Nachweise erforderlich, wenn sie auf geneigten Dächern aufgeständert installiert werden oder geneigt aus der Fasade hervortreten und dabei mehr als ein Drittel der jew. Dach- oder Außenwandfläche einnehmen. Bauordnungsrechtliche Anforderungen nach Art. 6 BayBO sind weiterhin einzuhalten.

Zur Veranschaulichung von Wärmeverlusten lösen Thermografie-Kameras die betrachteten Objekte in verschiedenfarbige Segmente auf. Je nach Oberflächentemperatur werden kalte Bauteile in bläulichen und wärmere Bauteile in gelben oder rötlichen Farbtönen dargestellt. Niedrige Außentemperaturen kühlen das Gebäude von außen ab, so dass im Inneren geheizt werden muss. Thermografie-Kameras stellen die Verluste der Gebäudehülle über beispielsweise Wärmebrücken sehr anschaulich dar.

Der Rundgang:

Bürgerinnen und Bürger, die ihr Gebäude untersuchen lassen wollen, melden sich zum Rundgang an. Gemeinsam können mit einem Energieberater/ Architekten / Handwerksmeister die energetischen Schwachstellen von Häusern untersucht und die Möglichkeiten der Sanierung erklärt werden. Erfahrungsgemäß sind bei einem Rundgang nicht mehr als vier Liegenschaften sinnvoll, um eine aussagekräftige Betrachtung zu erhalten. U.a. sollte ein Gebäude mit guter Bausubstanz dabei sein, um die Unterschiede vor Ort deutlich zu machen. Die Aktion muss bei kalter Witterung stattfinden, sodass Wärmeverluste eines Gebäudes mit der Infrarot-Kamera sichtbar werden.

5.3.4 Exkursionen zu Energieprojekten

Von der Idee bis zur Umsetzung von Energieprojekten kommen häufig Bedenken zur Wirtschaftlichkeit oder der technischen Machbarkeit auf. Mit unterschiedlichen Interessen wird auch unterschiedlich argumentiert. Oftmals bleibt es dann bei der Theorie. Die Besichtigung von bereits bestehenden Projekten hilft daher, mit Personen in Kontakt zu treten, die über praktische Erfahrungen berichten können.

Mögliche Ziele in der Region könnten sein:

- Heizzentrale der Energiegenossenschaft Untereglfing
- Versorgungsnetz (Wärmenetz + Breitband) Genossenschaft Steingaden
- Holzvergaser-BHKW in Bad Kohlgrub, Vorderkehr
- Windkraftanlagen in Bidingen/Ingenried

5.4 Sonstige Handlungsmöglichkeiten der Kommune

5.4.1 Bauherrenstammtisch für zukünftige Neubaugebiete

Europaweit sollen ab dem Jahr 2021 nur noch „Niedrigstenergiehäuser“ als Neubauten errichtet werden. Ein wichtiger Schritt erfolgte bereits mit der EnEV 2016, bei der die Ansprüche an die Energieeffizienz weiter verschärft wurden. Relativ schnell ändern sich die Vorschriften sowie die Förderkriterien dazu. Für Neubaugebiete wird daher dringend empfohlen, in der Planungsphase Interessenten einen „Bauherrenstammtisch“ anzubieten. Dabei können sowohl energetische Themen besprochen, als auch Details des Bebauungsplans allgemein erläutert werden. Zudem lernen sich die zukünftigen Nachbarn frühzeitig kennen. Die Unterstützung durch einen unabhängigen Energieberater, Fachingenieur oder Bauphysiker ist wünschenswert.

5.4.2 Klimaschutz in der Bauleitplanung

Für jeden Neubau sollten die optimalen Voraussetzungen zur Erzeugung von Strom und Wärme vor Ort geschaffen werden. Beispielsweise ist der Ertrag einer Solarthermieanlage für die Brauchwasserbereitstellung bei ungünstiger Ausrichtung und Dachneigung im Vergleich zur optimalen Disposition um 10 bis 15 % geringer. Die Berücksichtigung von Klimaschutzbelangen ist deshalb auch eine Verantwortung der Bauleitplanung und wird z.B. im Baugesetzbuch (BauGB) sowie in der Baunutzungsverordnung (BauNVO) entsprechend hervorgehoben:

- **§1 Abs. 6 BauGB:** „Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind insbesondere zu berücksichtigen: **Nr.7 (f)** die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die sparsame und effiziente Nutzung von Energie. “
- Im **Flächennutzungsplan** können Flächen als Versorgungsflächen ausgewiesen werden und damit Standortentscheidungen für die Gewinnung von erneuerbaren Energien getroffen werden **(§5 Abs. 2 Nr. 2 BauGB).**
- Im **Bebauungsplan** können Gebiete festgesetzt werden, in denen bei der Errichtung von Gebäuden erneuerbare Energie (insbesondere Solarenergie) eingesetzt werden muss **(§9 Abs. 1 Nr. 23b BauGB).**
- **§11 Abs. 1 Nr. 4 BauGB** sieht ausdrücklich vor, dass Gemeinden **städtebauliche Verträge** schließen können, welche die Nutzung von Netzen und Anlagen der

Kraft-Wärme-Kopplung sowie von Solaranlagen für die Wärme-, Kälte- und Elektrizitätsversorgung zum Gegenstand haben.

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

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

5.4.3 Bewerbung Solarpotenzialkataster

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, bietet die Solarenergie für die Gemeinde Schwaigen ein großes Potenzial zur regenerativen Energieerzeugung. Das zusätzlich nutzbare Potenzial übersteigt die bisherige Nutzung um ein Vielfaches. Oft wird dieses Potenzial in seiner Wirtschaftlichkeit von Hauseigentümern unterschätzt, da die Einspeisevergütung in den vergangenen Jahren stark gesunken ist. Gleichzeitig sind jedoch auch die Preise für PV-Module weiter zurückgegangen, so dass neben den nach Süden ausgerichteten Dächern auch Ost/West-Dächer für einen hohen wirtschaftlichen Ertrag sorgen können.

Das neue, für den gesamten Landkreis Garmisch-Partenkirchen verfügbare Solarpotenzialkataster bietet die Möglichkeit, detaillierte, gebäudescharfe Informationen zum Photovoltaik- als auch Solarthermiepotenzial aller Dachflächen abzurufen. Mit Hilfe eines integrierten Planungsassistenten können Hausbesitzer und Hausbesitzerinnen PV- und Solarthermieanlagen auf dem eigenen Dach kalkulieren. So können zusätzlich zur generellen Eignung eine Anlagenempfehlung und die zu erwartenden Erträge ermittelt werden. Zudem können Speichersysteme, der Einsatz von Elektrofahrzeugen und das Verbraucherverhalten berücksichtigt werden. Die Benutzer erhalten durch das anbieterneutrale Kataster wertvolle Hinweise zur Planung und zum Bau einer eigenen Solaranlage und nützliche Links auf weiterführende Seiten.

Das Solarpotenzialkataster ist über folgenden Link zu erreichen: https://www.solare-stadt.de/garmisch-partenkirchen/

Um das Angebot in der Bevölkerung bekannter zu machen, könnte die Gemeinde Schwaigen mit einem Beitrag im Schwaigener Gemeindeblatt informieren. Zudem könnte das Solarpotenzialkataster an einer prominenten Stelle direkt auf der Gemeindehomepage verlinkt werden.

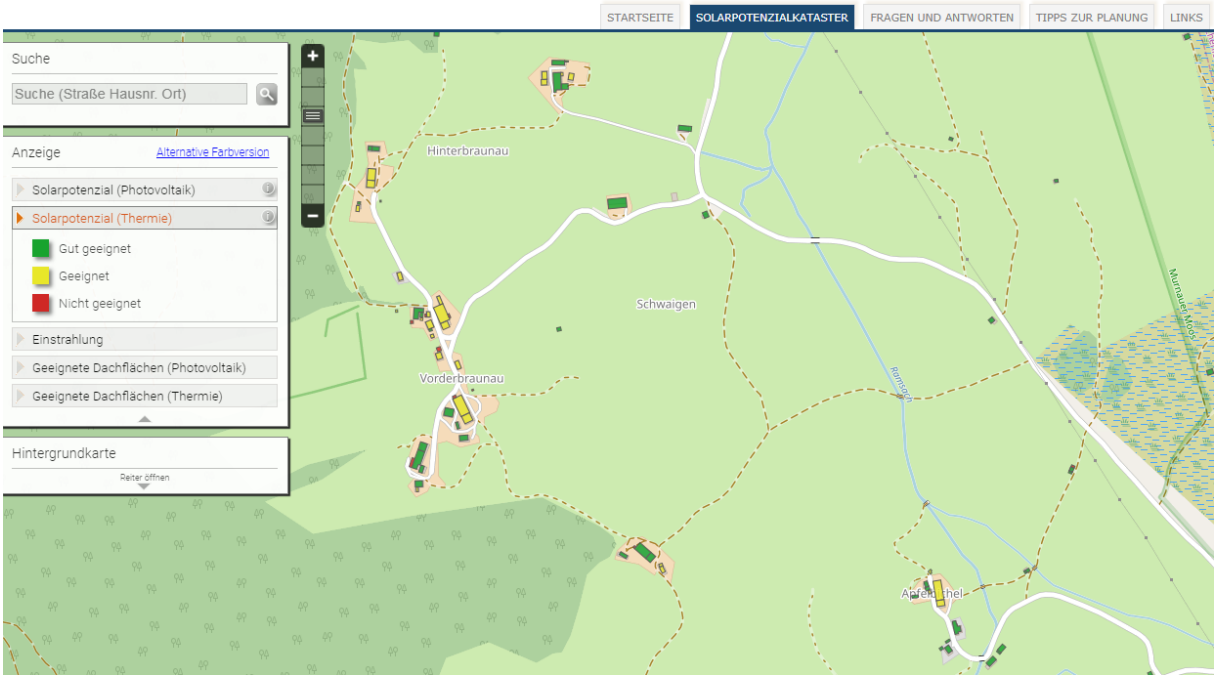


Abbildung 5-8: Ausschnitt aus dem Solarpotenzialkataster Schwaigen (Zugspitz Region GmbH 2019).

5.5 Nutzung der Windenergie

Die Potenzialanalyse in Kapitel 3.2.4 zeigt, dass die Windgeschwindigkeiten im westlichen Gemeindegebiet eine ausreichende Stärke erreichen, um Windenergieanlagen betreiben zu können. Wie aus Abbildung 5-5 hervorgeht, sind durch diese Windgeschwindigkeiten rund 1.500 Volllaststunden pro Jahr zu erzielen.

Entsprechend dem „Bayerischen Aktionsprogramm Energie“ vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi 2019a) sollen in Bayern 300 neue Standorte für Windenergieanlagen identifiziert und die 10-H-Regel evaluiert werden. Unter diesen Gesichtspunkten sollte geprüft werden, ob sich an diesem Standort die Errichtung von Windkraftanlagen realisieren lässt.

Nach einer positiven Beurteilung der Flächen könnten dort mindestenszwei Windräder errichtet werden. Bei einer Leistung von 3 MW pro Anlage würde das einer Stromproduktion von 9.000 MWh pro Jahr entsprechen. Das Gebiet ist bereits durch Forststraßen relativ gut erschlossen und in Besitz der bayerischen Staatsforsten.

Nach wie vor stößt die Windkraft in der Bevölkerung jedoch oft auf Widerspruch. Eine bewährte Lösung ist die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürgern durch die Projektierung von Bürgerwindanlagen. Durch die finanzielle Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger an einer Anlage wird die Akzeptanz und die Identifikation mit der Windenergie gefördert. Die Gewinne der Stromerzeugung fließen direkt an die Beteiligten, bleiben somit vor Ort und stärken die regionale Wertschöpfung.

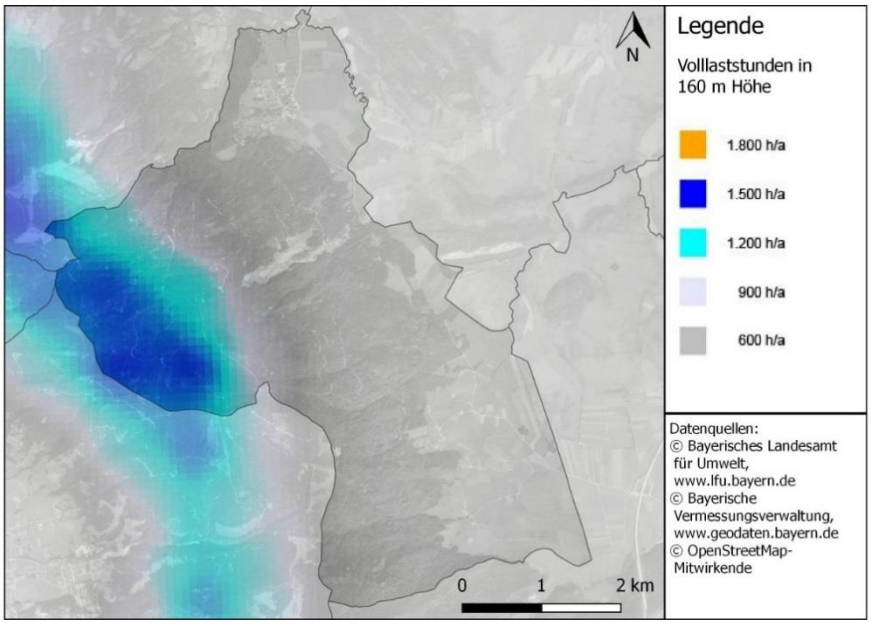


Abbildung 5-9: Berechnete Volllaststunden für Windenergieanlagen in Schwaigen (StMWi 2019b).

Eine geeignete Möglichkeit für Schwaigen ist, dass eine Anlage kommunal und die zweite Anlage als Bürgerwindanlage errichtet wird.

Da die Gemeindeordnung die wirtschaftliche Betätigung von Kommunen limitiert und eine Gemeinde nicht mehr Strom durch Windenergieanlagen erzeugen darf, als auf dem Gemeindegebiet verbraucht wird, würde sich die Errichtung und der Betrieb der kommunalen Anlage über die Ammer-Loisach Energie GmbH anbieten. Ein solches Modell wird zum Beispiel von der Gemeinde Bidingen in Kooperation mit der Nachbargemeinde Ingenried seit 2014 erfolgreich betrieben (Vgl. Praxisbeispiel https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wind/praxisbeispiele/details,756.html).

5.6 Übersicht der Maßnahmen

Maßnahme für	Titel der Maßnahme	Liegenschaft	Kategorie	Umsetz-barkeit	Investitions-kosten	Amortisierungs-dauer [Jahre]	CO_2 – Einsparung [t/a]	Primärenergie-Einsparung [MWh/a]
Kommunale Liegen-schaften	**PV-Anlage**	Dorfladen	Energieerzeugung regenerativ	Kurzfristig	13.860 €	7	6,9	18,1
	PV-Anlage	Mehrzweck-halle	Energieerzeugung regenerativ	Kurzfristig	13.860 €	10	7,2	6,0
	PV-Anlage	Pumpstation	Energieerzeugung regenerativ	Kurzfristig	15.600 €	> 20	2,1	6,1
Wärme-verbundnetz	**Dorfheizung**	OT Grafen-aschau	Energieerzeugung regenerativ, Energieeffizienz	Mittelfristig			400	1.800
Maßnahmen für BürgerIn-nen	**Energie-karawane**	Gemeinde Schwaigen	Energieeinsparung Energieerzeugung regenerativ	Kurzfristig				
	Rundgang mit Thermografie	Gemeinde Schwaigen	Energieeinsparung	Kurzfristig				
	Exkursion Ener-gieprojekte		Energieerzeugung regenerativ	Kurzfristig				

Sonstige Handlungsoptionen der Gemeinde	**Bauherrenstammtisch**	Gemeinde Schwaigen	Sonst. Handlungsmöglichkeiten	Kurzfristig				
	Klimaschutz in der Bauleitplanung	Gemeinde Schwaigen	Sonst. Handlungsmöglichkeiten	Mittelfristig				
	Bewerbung Solarpotenzialkataster	Gemeinde Schwaigen	Sonst. Handlungsmöglichkeiten, Öffentlichkeitsarbeit	Kurzfristig				
	Nutzung Windenergie	Gemeinde Schwaigen	Energieerzeugung regenerativ	Langfristig	k.A.	k.A.	3.276	16.200

6. Fördermittel und Finanzierung für Energieprojekte

Für die Sanierung von Privatgebäuden stehen attraktive Mittel, sowohl zur Komplettsanierung, als auch für Einzelmaßnahmen, zur Verfügung. Über die Hausbanken können Anträge für Zuschüsse und Kredite gestellt werden. Im Folgenden wird eine Auswahl von Programmen im Überblick (Stand 2017) dargestellt.

6.1 Verbraucherzentrale Bayern

Seit 2015 bietet die Verbraucherzentrale an sogenannten Beraterstützpunkten kostengünstige Energieberatungen an. Der nächst gelegene Beratungsstützpunkt ist Murnau. Beratungstermine können unter der Tel. 0800 809 802 400 vereinbart werden. Zusätzlich werden auch Energieberatungen im eigenen Haushalt angeboten. Nachfolgend eine Übersicht über die Kosten und Leistungen der Beratungsangebote (Verbraucherzentrale Energieberatung e.V., 2016):

Tabelle 6-1: Energieberatungsangebot der Verbraucherzentrale Bayern.

Leistung	Kosten	Bemerkung
Telefonische Beratung	Kostenfrei	Tel.: 0800 809 802 400
Online-Beratung	Kostenfrei	Onlineformular
Stationäre Beratung	Kostenfrei	Bad-Tölz, Garmisch-Partenkirchen, Geretsried, Miesbach, Murnau, Peiting, Penzberg, Weilheim
Basis-Check	Kostenfrei	Terminvereinbarung unter Tel. 0800 809 802 400
Gebäude-Check	30 Euro	
Heiz-Check	30 Euro	
Solarwärme-Check	30 Euro	
Detail-Check	30 Euro	
Eignungs-Check Solar	30 Euro	

6.2 PV-Speicher Programm

Seit August 2019 fördert der Freistaat Bayern mit einem neuen Programm die Installation von zusätzlichen PV-Anlagen, wenn sie mit einem Batteriespeicher ausgestattet werden. Förderfähig sind Anlagen in selbstgenutzten Ein – und Zweifamilienhäusern. Die Höhe der Förderung richtet sich nach den installierten Kapazitäten des Speichers und der Leistung der PV-Anlage:

Tabelle 6-2: Staffelung des Förderumfangs im PV-Speicher Programm.

Nutzbare Kapazität Batteriespeicher und Leistung PV-Anlage	Förderung
3,0 bis 3,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 3,0 **kW_p** (PV-Anlage)	500 €
4,0 bis 4,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 4,0 **kW_p** (PV-Anlage)	600 €
5,0 bis 5,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 5,0 **kW_p** (PV-Anlage)	700 €
6,0 bis 6,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 6,0 **kW_p** (PV-Anlage)	800 €
7,0 bis 7,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 7,0 **kW_p** (PV-Anlage)	900 €
8,0 bis 8,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 8,0 **kW_p** (PV-Anlage)	1.000 €
9,0 bis 9,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 9,0 **kW_p** (PV-Anlage)	1.100 €
10,0 bis 10,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 10,0 **kW_p** (PV-Anlage)	1.200 €
11,0 bis 11,9 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 11,0 **kW_p** (PV-Anlage)	1.300 €
usw.	usw.
ab 30,0 kWh (Batteriespeicher) und ≥ 30,0 **kW_p** (PV-Anlage)	3.200 €

Wird im Zuge dieser Maßnahmen auch eine Ladevorrichtung für E-Autos installiert, so ist ein weiterer Zuschuss von 200,- € möglich.

6.3 KfW-Programm 151/152 Energieeffizient Sanieren – Kredite

Zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden bietet die KfW-Bank das Programm 151/152 Energieeffizient Sanieren für Häuser, deren Bauantrag oder die Bauanzeige vor dem 01.02.2002 gestellt wurden, an. Förderfähig sind alle energetischen Maßnahmen, die zum KfW-Effizienzhaus Standard führen. Einige Beispiele für förderfähige Einzelmaßnahmen sind:

- die Wärmedämmung von Wänden, Dachflächen, Keller-und Geschossdecken
- die Erneuerung der Fenster und Außentüren
- die Erneuerung oder Optimierung der Heizungsanlage (sofern diese älter als 2 Jahre sind)
- die Erneuerung, der Einbau einer Lüftungsanlage
- Erstanschluss an Nah- oder Fernwärme

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

Umfang der Förderung	
	• *Bis 120.000 Euro für jede Wohneinheit beim KfW-Effizienzhaus oder 50.000 Euro bei Einzelmaßnahmen* • *0,75 Prozent effektiver Jahreszins*

Bei der Sanierung zum KfW-Effizienzhaus oder dem Kauf von saniertem Wohnraum beträgt der maximale Kreditbetrag 120.000 € (Kredit 151).

Bei energetischen Einzelmaßnahmen, die keinen KfW-Effizienzhaus-Standard anstreben, beträgt der maximale Kreditbeitrag 50.000 € (Kredit 152).

Tabelle 6-3: Umfang der Förderungen der Förderprogramme 151/152.

Maßnahme	Tilgungszuschuss	Tilgungszuschuss je Wohneinheit
KfW-Effizienzhaus 55	40 %	Bis zu 48.000 €
KfW-Effizienzhaus 70	35 %	Bis zu 42.000 €
KfW-Effizienzhaus 85	30 %	Bis zu 36.000 €
KfW-Effizienzhaus 100	27,5 %	Bis zu 33.000 €
KfW-Effizienzhaus 115	25 %	Bis zu 30.000 €
KfW-Effizienzhaus Denkmal	25 %	Bis zu 30.000 €
Einzelmaßnahme	20 %	Bis zu 10.000 €

Dieses KfW-Programm wird aus dem CO_2-Gebäudesanierungsprogramm des Bundes finanziert.

6.4 KfW-Programm 430 Energieeffizient Sanieren - Investitionszuschuss

Für die Sanierung zum KfW-Effizienzhaus oder energetischen Einzelmaßnahmen tritt das Programm 430 Energieeffizient Sanieren-Investitionszuschuss in Kraft. Dieser Zuschuss fördert die energetische Sanierung von Wohngebäuden, für die der Bauantrag oder die Bauanzeige vor dem 01.02.2002 gestellt wurde. Es sind alle energetischen Maßnahmen förderfähig, die zum KfW-Effizienzhaus-Standard führen. Falls der KfW-Effizienzhaus-Standard nicht angestrebt wird, werden durch diesen Zuschuss auch Einzelmaßnahmen gefördert:

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

Damit diese Einzelmaßnahmen förderfähig sind, müssen diese bestimmte technische Mindestanforderungen erfüllen. Zusätzlich werden Baunebenkosten, Wiederherstellungskosten und Beratungs-, Planungs- sowie Baubegleitungsleistungen gefördert. Wenn sanierter Wohnraum gekauft wird, können die Kosten der energetischen Sanierung gefördert werden, vorausgesetzt diese sind gesondert (z.B. im Kaufvertrag) ausgewiesen.

Das Förderprogramm richtet sich an private Eigentümer, die Wohnraum energetisch sanieren oder sanierten Wohnraum kaufen (bei gesonderter Auflistung der energetischen Sanierungsmaßnahmen). Eine flexible Kombination mit anderen Fördermitteln ist möglich.

Die förderfähigen Investitionskosten für die Sanierung zum KfW-Effizienzhaus betragen max. 120.000 €.

Die förderfähigen Investitionskosten für Einzelmaßnahmen betragen max. 50.000 €.

Tabelle 6-4: Umfang der Förderungen des Förderprogramms 430.

Maßnahme	Investitionszuschuss	Geförderte Kosten je Wohneinheit
KfW-Effizienzhaus 55	40 %	Max. 48.000 €
KfW-Effizienzhaus 70	35 %	Max. 42.000 €
KfW-Effizienzhaus 85	30 %	Max. 36.000 €
KfW-Effizienzhaus 100	27,5 %	Max. 33.000 €
KfW-Effizienzhaus 115	25 %	Max. 30.000 €
KfW-Effizienzhaus Denkmal	25 %	Max. 30.000 €
Einzelmaßnahme	20 %	Max. 10.000 €

6.5 KfW-Programme für Unternehmen

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

- Energieeffizient Bauen und Sanieren (Programm 276)
- Zuschuss Brennstoffzelle (Programm 433)
- Produktionsanlagen/-prozesse (Programm 292)

- Energieeffizienz in der Wirtschaft (KfW-Programm 295 bzw. BAFA-Zuschuss).

Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Förderung von Energiemanagementsystemen:

- Initialberatung: Vor-Ort-Besichtigung und auf Basis einer Analyse vorhandener energietechnischer Daten
- Detailberatung: Energieanalyse des Betriebs mit konkretem Maßnahmenplan

6.6 BAFA-Zuschuss für erneuerbare Energien (Marktanreizprogramm)

Die Zuschüsse für regenerative Heizsysteme können beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle beantragt werden. Es werden Installationen von umweltschonenden Heizungssystemen auf Basis nachwachsender Rohstoffe gefördert. Zu beachten ist, dass die Antragstellung vor dem Vorhabenbeginn (vor Abschluss eines Lieferungs- oder Leistungsvertrages) erfolgen muss. Ab dem 01.01.2020 tritt die geänderte Richtlinie in Kraft. Für vorher beantragte Maßnahmen und bereits bewilligte Anträge gelten die Bestimmungen der Förderrichtlinie vom 11.03.2015

Austauschprämie für Ölheizungen	*Beim Austausch einer Ölheizung gegen eine förderfähige Hybridheizung, Biomasseanlage oder Wärmepumpenanlage wird der gewährte Fördersatz um 10 Prozentpunkte erhöht. Damit beträgt dann die Förderung von Heizungen, die ausschließlich erneuerbare Energien nutzen, 45 % und für Erdgas-Hybridheizungen 40 %.*

6.6.1 Biomasse-Anlagen

Mit Investitionszuschüssen werden effiziente und emissionsarme Biomasseanlagen gefördert. Gegenstand der Förderung ist die Errichtung oder Erweiterung von Biomasseanlagen für die thermische Nutzung von mindestens 5 kW Nennwärmeleistung. Die Installation bei bestehenden Gebäuden, die zum Zeitpunkt der Antragstellung bereits seit mehr als 2 Jahren ein Heizungs- bzw. Kühlsystem in Betrieb haben, wird mit bis zu **35 %** der förderfähigen Kosten unterstützt. Beim Austausch einer Ölheizung bis zu **45 %**.

Bei Neubauten werden Biomasseanlagen mit **35 %** der förderfähigen Kosten gefördert, wenn sie die entsprechenden technischen Mindestanforderungen erfüllen.

Förderfähige Biomasseanlagen sind:

- Kessel zur Verbrennung von Biomassepellets und –hackschnitzeln
- Pelletöfen mit Wassertasche

- Kombinationskessel zur Verbrennung von Biomassepellets bzw.
- Hackschnitzeln und Scheitholz
- Besonders emissionsarme Scheitholzvergaserkessel

6.6.2 Solarkollektoranlagen (thermisch)

Das BAFA bezuschusst Investitionen in thermische Solarkollektoranlagen. Die Förderung beinhaltet die Errichtung oder Erweiterung von Solarkollektoranlagen zur thermischen Nutzung, wenn sie überwiegend der Warmwasserbereitung und/oder Raumheizung, der Kälteerzeugung oder der Zuführung der Wärme/Kälte in ein Wärme- oder Kältenetz dienen. Bei bestehenden Gebäuden, die zum Zeitpunkt der Antragstellung bereits seit mehr als 2 Jahren ein Heizungs- bzw. Kühlsystem in Betrieb haben, beträgt die Förderung bis zu **30 %** der förderfähigen Kosten. Flachkollektoren müssen hierbei eine Bruttokollektorfläche von mindestens 9 m^2 oder mehr haben und der dazu gehörende Pufferspeicher ein Volumen von 40 l/m^2 Bruttokollektorfläche. Vakuumröhren- oder Vakuumflachkollektoren müssen eine Bruttokollektorfläche von mindestens 7 m^2 oder mehr haben und der dazu gehörende Pufferspeicher ein Volumen von 50 l/m^2 Bruttokollektorfläche. Für Luftkollektoren gibt es keine Mindestanforderungen. Anlagen ausschließlich zur Warmwasserbereitung müssen mindestens eine Bruttokollektorfläche von 3 m^2 und ein Puffervolumen von mindestens 200 l aufweisen.

In Neubauten beträgt die Förderung **30 %** der förderfähigen Kosten, wenn sie die entsprechenden technischen Mindestanforderungen erfüllen. Die Bruttokollektorfläche muss mindestens 20 m^2 und das Puffervolumen wie oben beschrieben entsprechend der Kollektorart betragen. Wohngebäude müssen aus mindestens drei Wohneinheiten bestehen, Nichtwohngebäude müssen mindestens 500 m^2 beheizte Nutzfläche aufweisen oder es handelt sich um ein Solaraktivhaus, dessen solarer Deckungsgrad bei mindestens 50 % liegt.

6.6.3 Wärmepumpen (bis 100 kW Nennwärmeleistung)

Gegenstand der Förderung ist die Errichtung von effizienten Wärmepumpenanlagen einschließlich der Nachrüstung bivalenter Systeme, wenn sie überwiegend der Warmwasserbereitung und/oder Raumheizung von Gebäuden oder der Zuführung der Wärme in ein Wärmenetz dienen. Bei Bestandsgebäuden, die zum Zeitpunkt der Antragstellung bereits seit mehr als 2 Jahren ein Heizungs- bzw. Kühlsystem in Betrieb haben, beträgt die Förderung bis zu **35 %** der förderfähigen Kosten. Beim Austausch einer Ölheizung bis zu **45 %**.

In Neubauten werden die Anlagen mit **35 %** der förderfähigen Kosten gefördert, sofern sie die entsprechenden Mindestanforderungen erfüllen.

6.6.4 Gas-Hybridheizungen

Gegenstand der Förderung ist die Errichtung von Hybridheizungen, die mehrere Anlagen kombinieren und mit deren Inbetriebnahme Wärme aus erneuerbarer Energie nutzen. Die Förderung bezieht sich auf eine Installation in bestehenden Gebäuden, die zum Zeitpunkt der Antragstellung bereits seit mehr als 2 Jahren ein Heizungs- bzw. Kühlsystem in Betrieb haben.

EE-Hybridheizungen kombinieren ausschließlich Technologie-Komponenten zur thermischen Nutzung erneuerbarer Energien (Solar, Biomasse oder Wärmepumpen) über eine gemeinsame Steuerungs- und Regelungstechnik. Die technischen Voraussetzungen für die Förderung ergeben sich aus den technischen Voraussetzungen der einzelnen Komponenten. Hierbei beträgt die Förderung bis zu **35 %**, beim Austausch einer Ölheizung bis zu **45 %** der förderfähigen Kosten.

Gas-Hybridheizungen kombinieren eine neue Gasheizung mit einem oder mehreren Technologie-Komponenten zur thermischen Nutzung erneuerbarer Energien (Solar, Biomasse oder Wärmepumpe) über eine gemeinsame Steuer- und Regelungstechnik. Hierbei beträgt die Förderung bis zu **30 %** der förderfähigen Kosten. Beim Austausch einer Ölheizung beträgt die Förderung bis zu **40 %** der förderfähigen Kosten.

Technische Voraussetzungen für die Förderung sind u.a.:

- eine jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz (ETA S) von mind. 92%
- eine hybridfähige Steuerungs- und Regelungstechnik
- der regenerative Wärmeerzeuger muss mind. 25 % der Heizlast bedienen
- ein hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage

6.6.5 „Renewable Ready“ Gas-Brennwertheizungen

Gegenstand der Förderung sind „Renewable Ready“ Gas-Brennwertheizungen, die spätestens 2 Jahre nach der Inbetriebnahme zusätzlich Wärme aus erneuerbaren Energien nutzen. Die Förderung bezieht sich auf die Installation einer Gas-Hybridheizung bei der zunächst nur ein neuer Gasbrennwertkessel installiert wird und erst später die thermische Nutzung erneuerbarer Energien realisiert wird. Voraussetzung ist die Installation einer hybridfähigen Steuerungs- und Regelungstechnik für den künftigen erneuerbaren Teil des Heizsystems. Diese Förderung bezieht sich nur auf bestehende Gebäude, die zum Zeitpunkt der Antragstellung bereits seit mehr als 2 Jahren ein Heizungs- bzw. Kühlsystem in Betrieb haben.

Weitere technische Voraussetzungen für die Förderung:

- der Maßnahme liegt das Konzept für die geplante Gas-Hybridheizung, die alle Technischen Voraussetzungen erfüllt, zu Grunde

- eine jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz (ETA S) von mindestens 92%
- eine hybridfähige Steuerungs- und Regelungstechnik
- Nachweis der Umwandlung in eine Gas-Hybridheizung innerhalb von 2 Jahren
- ein Speicher für die künftige Einbindung des erneuerbaren Wärmeerzeugers (Ausnahmsweise kann in Nichtwohngebäuden auf einen Speicher verzichtet werden, wenn Biogas zu einem Anteil von mehr als 55% dauerhaft über die Mindestnutzungsdauer der Anlage eingesetzt wird)
- hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage

Die Förderung beträgt bis zu **20 %** der förderfähigen Kosten.

6.7 Impulsprogramm Mini-KWK-Anlagen (BAFA)

Durch die KWK-Richtlinie 2004/8/EG werden Blockheizkraftwerke bis 20 kW elektrischer Leistung gefördert. Nach diesem Förderprogramm können neue Blockheizkraftwerke bis 20 kW_{el} in bestehenden Gebäuden einen einmaligen Investitionszuschuss erhalten, dieser ist nach der elektrischen Leistung der Anlage gestaffelt. Förderfähig sind die Neuerrichtungen von strom- und wärmeführbarer Mini-KWK-Anlagen bis 20 $kW_{el.}$ in Bestandsbauten. Für diese Bestandbauten gelten folgende Richtlinien:

- Gelistet auf der Liste der förderfähigen Mini-KWK-Anlagen der BAFA
- Betreut über einen Wartungsvertrag
- Nicht in Gebieten mit einem Anschluss- und Benutzungsgebot für Fernwärme liegend
- Es existiert ein Wärmespeicher mit einem Speichervolumen von 60 Liter Wasser pro kW thermischer Leistung, wobei ein Speichervolumen von maximal 1.600 Liter ausreicht
- Installation eines Stromzählers für den KWK-Strom
- Sofern die Mini-KWK-Anlagen mehr als 10 kW elektrische Leistung aufweisen, müssen sie auf die Signale des Strommarktes reagieren können.

Die Fördersätze der Basisförderung je installierter kW_{el} für die jeweiligen Leistungsbereiche sind wie folgt festgesetzt.

Tabelle 6-5: Basisförderung bei Mini-KWK-Anlagen (BAFA 2018b).

Leistung Minimum [kW_{el}]	Leistungsmaximum [$kW_{el.}$]	Förderbetrag € je kW_{el} kumuliert über Leistungsstufen
>0	<=1	1.900
>1	<=4	300
>4	<=10	100
>10	<=20	10

Bonusförderung Stromeffizienz:

Bei Erfüllung der Anforderungen der Bonusförderung Stromeffizienz (hoher elektrischer Wirkungsgrad) wird zusätzlich zur Basisförderung ein Bonus in Höhe von 60 % der Basisförderung gewährt.

Bonusförderung Wärmeeffizienz:

Diese soll zum verstärkten Einsatz von Brennwertwärmetauschern in Mini-KWK-Anlagen beitragen. Besonders sinnvoll ist der Einsatz von Brennwerttechnik in hydraulisch abgeglichenen Heizungssystemen. Für Anlagen, welche:

- Einen serienmäßigen oder nachgerüsteten Abgaswärmetauscher zur Brennwertnutzung aufweisen
- Die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs für Heizungssysteme nachweisen.

Bei Erfüllung der Anforderungen der Bonusförderung Wärmeeffizienz wird zusätzlich zur Basisförderung ein Bonus in Höhe von 25 % der Basisförderung gewährt. Die Bonusförderungen können nur zusätzlich zur Basisförderung für neue KWK-Anlagen in Anspruch genommen werden.

Hinweis

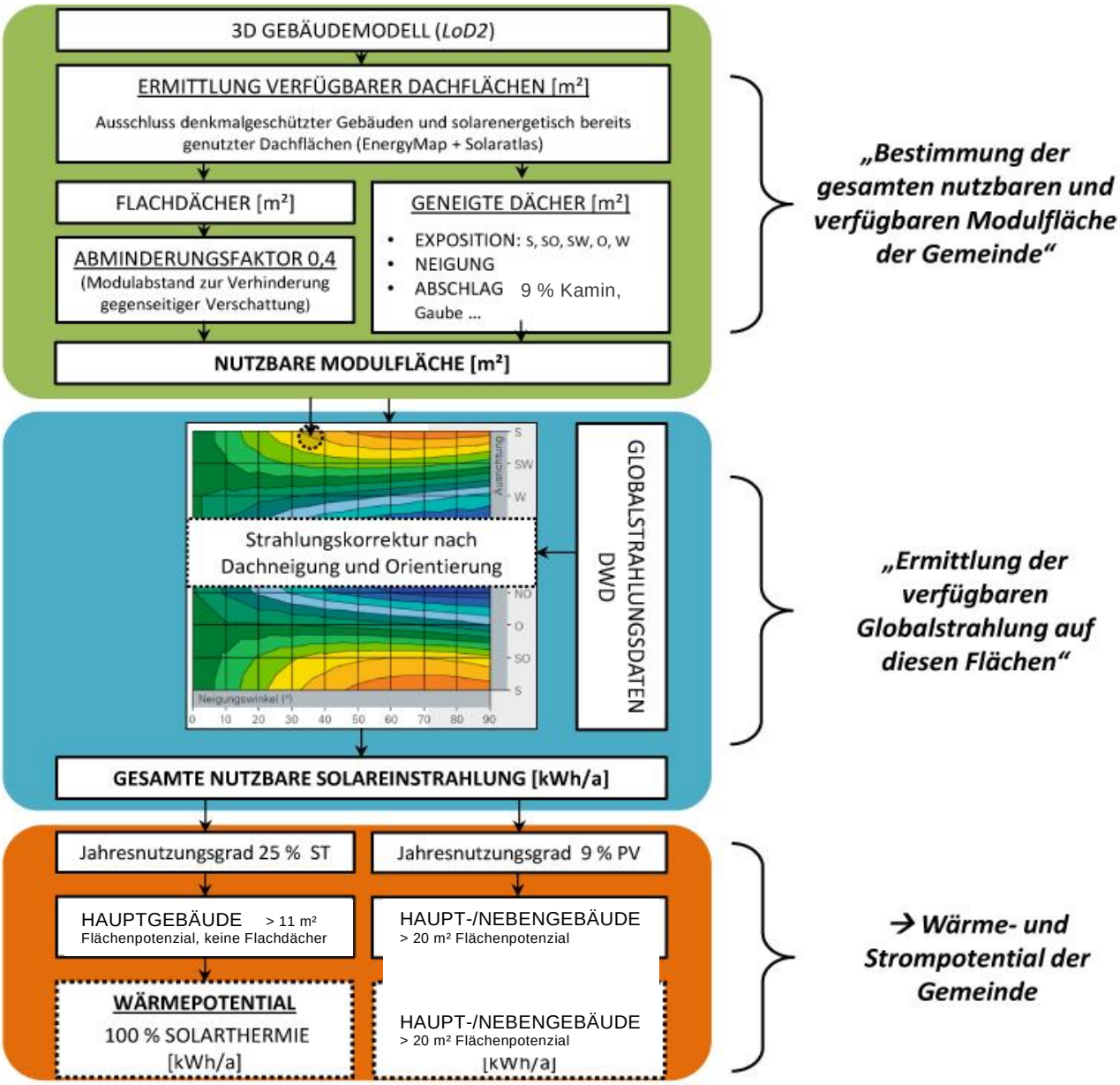
Die Laufzeit des Förderprogramms ist bis 31.12.2020 begrenzt. Ab 01.01.2021 können keine neuen Förderanträge mehr gestellt werden.

6.8 Heizungsoptimierung

Seit 1. August 2016 wird die Optimierung von bestehenden Wärmeverteilungen mit einem Zuschuss von 30 % gefördert (BAFA 2016). Es werden Leistungen im Zusammenhang mit der Erneuerung von Heizkreis-, Warmwasser- und Zirkulationspumpen sowie der hydraulische Abgleich gefördert. Die Förderobergrenze liegt bei 25.000 Euro. Förderberechtigt sind sowohl juristische als auch Privatpersonen, Gewerbebetriebe und kommunale Träger.

7. Anhang

Anhang 1: Durchgeführte Arbeitsschritte zur Ermittlung des solarenergetischen Potenzials in der Gemeinde Schwaigen.



Anhang 2: Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach VDI 2067 mit PVSol: Parameter (Fraunhofer ISE, 2017).

Parameter	Wert
Anfangsdegradation	2 % zzgl. jährliche Degradation 0,5 %
Optimale Ausrichtung der Fläche	Süd 30°
Performance Ratio	je nach Verschattung vom Tool berechnet
Jährliche Kosten	1 % des Systemanlagenpreises
Nutzungsdauer	20 Jahre
Inflationsrate/Preissteigerungen	2 %
nominaler kalkulatorischer Zinssatz	3 %
Strombezugspreis	Arbeitspreis: 0,22 €/kWh, Grundpreis: 6,90 €/Monat
EEG-Vergütung	0,1231 €/kWh (< 10 kW_p), 0,1187 €/kWh (> 10 kW)
Zeitpunkt der Inbetriebnahme	01.10.2018
Systemkosten	1.300 – 1.500 €/kW_p

8. Literaturverzeichnis

Agentur für Erneuerbare Energien (2013): *Studienvergleich: Entwicklung der Volllaststunden von Kraftwerken in Deutschland*.

B.A.U.M Consult GmbH (2012): *Integriertes Klimaschutzkonzept für den Landkreis Garmisch-Partenkirchen*.

Bad Tölz (2017): „Klimastation Bad Tölz - Wetterstatistik“. Abgerufen am 28.08.2018 von http://meteo.bad-toelz.de/statistic.php.

BAFA (2016): „Förderung der Heizungsoptimierung durch hocheffiziente Pumpen und hydraulischen Abgleich (Zuschuss)“. Abgerufen am 02.11.2017 von http://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Publikation/2016/flyer-bringen-sie-ihre-heizung-auf-den-neuesten-stand.html.

BAFA (2018a): „Heizen mit erneuerbaren Energien“. Abgerufen am 25.05.2018 von http://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/heizen_mit_erneuerbaren_energien_node.html.

BAFA (2018b): „Mini-KWK-Zuschuss bis 20kWel“. Abgerufen am von http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Mini_KWK/mini_kwk_node.html.

Bayernwerk AG (2019a): *Netzabsatzdaten*.

Bayernwerk AG (2019b): *Netzeinspeisedaten*.

BDEW (2015): *Grundlagenpapier Primärenergiefaktoren*.

Biogas Forum Bayern (2017): „Plattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern“. Abgerufen am 23.03.2017 von http://www.biogas-forum-bayern.de.

BLfD (2019): „Denkmaldatenbank“.

BMWI (2018): „Energie-Atlas Bayern“. Abgerufen am von http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?

BSW (2018): „Solaratlas“. Abgerufen am 27.09.2019 von http://www.solaratlas.de.

Burger, Julian (2018): „Ist- und Potenzialanalyse des Strom- und Wärmebedarfs auf Gemeindeebene im Landkreis Garmisch-Partenkirchen“. Hochschule Kempten.

BWE (2013): *Kleinwindanlagen - Handbuch der Technik, Genehmigung und Wirtschaftlichkeit kleiner Windräder*.

C.A.R.M.E.N. e.V. (2019): „https://www.carmen-ev.de/“. Abgerufen am von https://www.carmen-ev.de/.

dena (2015): *Energiesparen und Energieeffizienz im Haushalt*.

DWD (2017): „German global radiation grids“. Abgerufen am 19.10.2017 von ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/grids_germany/annual/radiation_global/.

DWD (2018): „Klimadaten“. Abgerufen am 06.09.2018 von ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/.

EEG (2017): *Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 22. Dezember 2016 (BGBl. I S. 3106) geändert worden ist*.

FNR (2014): *Basisdaten Bioenergie Deutschland 2014*. Rostock.

Friedlingstein, Pierre; Andrew, Robbie M; Rogelj, Joeri; u. a. (2014): „Persistent growth of CO 2 emissions and implications for reaching climate targets“. In: *Nature geoscience*. Nature Publishing Group 7 (10), S. 709.

Hähnlein, Stefanie; Blum, Philipp; Bayer, Peter (2011): „Oberflächennahe Geothermie - aktuelle rechtliche Situation in Deutschland“. In: *Grundwasser*. 16 (2), S. 69–75, doi: 10.1007/s00767-011-0162-0.

Halmbacher, Veronika; Mayer, Bernhard; Deingruber, Stefan; u. a. (2018): *Energieeffizienz und Klimaschutz in der Bauleitplanung*.

Hofer, Veronika; Süß, Andreas; Prasch, Monika; u. a. (2016): *Potenzialanalyse für Energien der Region „Energiewende Oberland“*.

Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (2010): *Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien*.

Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang; Wiese, Andreas (2014): *Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.

KBA (2017): *Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Gemeinden (1. Januar 2017)*.

kea (2016): „CO2-Emissionsfaktoren“. Abgerufen am 18.06.2019 von http://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/.

LfStat (2017): „Bevölkerungsvorausberechnungen-Demographiespiegel (Gemeinde, Bevölkerung, Geschlecht, Stichtage)“. Abgerufen am 26.03.2018 von https://www.statistikdaten.bayern.de.

LfStat (2018a): „Fläche: Gemeinde, Fläche (ALKIS), Art der tatsächlichen Nutzung (6) , Jahre“. Abgerufen am 24.08.2018 von https://www.statistikdaten.bayern.de.

LfStat (2018b): „Fortschreibung des Bevölkerungsstandes (Bevölkerung: Gemeinden, Stichtage)“. Abgerufen am 24.08.2018 von https://www.statistikdaten.bayern.de.

LfStat (2018c): „Gebäude- und Wohnungsbestand: Gemeinde, Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche, Stichtage“. Abgerufen am 24.08.2018 von https://www.statistikdaten.bayern.de.

LfStat (2018d): „Landwirtschaftszählung: Gemeinde, Betriebe mit Viehhaltung, Viehbestand, Tierarten, Stichtag“. Abgerufen am 24.08.2018 von https://www.statistikdaten.bayern.de.

LfStat (2018e): „Primär- und Endenergieverbrauch Bayern“. Abgerufen am von https://www.statistik.bayern.de/statistik/energie/.

LfStat (2018f): „Statistik Kommunal - Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten“. Abgerufen am 13.11.2018 von https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/index.php.

LfU (2019): „Energieatlas Bayern - Oberflächennahe Geothermie“. Abgerufen am 04.02.2019 von https://www.energieatlas.bayern.de/thema_geothermie/oberflaeche/nutzung.html.

LfU (2013): „Oberflächennahe Geothermie“. Abgerufen am 26.05.2017 von https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_107_oberflaechennahe_geothermie.pdf.

LMU München (2011): „GLOWA-Danube Atlas“. Abgerufen am 01.09.2017 von http://www.glowa-danube.de/atlas/atlas.php.

Rogelj, Joeri; Den Elzen, Michel; Höhne, Niklas; u. a. (2016): „Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C“. In: *Nature*. Nature Publishing Group 534 (7609), S. 631.

Statistisches Bundesamt (2016): *Datenreport 2016*.

StMUG; StMWIVT; OBB (2011): *Leitfaden Energienutzungsplan*.

StMWi (2019a): *Bayerisches Aktionsprogramm Energie. Energie für die Menschen mit den Menschen.*

StMWi (2019b): „Energieatlas Bayern“. Abgerufen am 12.12.2019 von https://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten.

StMWi (2017a): „Glossar des Energieatlas Bayern“. Abgerufen am 02.02.2018 von https://www.energieatlas.bayern.de/glossar/w-z/waermebelegungsdichte.html.

StMWi (2017b): „Pressemitteilung: Bayerische Staatsregierung beschließt Verordnung über Gebote für Photovoltaik-Freiflächenanlagen“. Abgerufen am 14.12.2017 von http://www.bayern.de.

Strohm, Kathrin; Schweinle, Jörg; Liesebach, Mirko; u. a. (2012): *Kurzumtriebsplantagen aus ökologischer und ökonomischer Sicht*. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie.

UBA (2017): „Stromsparen: weniger Kosten, weniger Kraftwerke, weniger CO2 Fakten und Argumente für das Handeln auf der Verbraucherseite“. Abgerufen am 21.09.2017 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3191.pdf.

Umweltbundesamt (2018): *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2017*.

vbw (2012): *Energetische Gebäudesanierung in Bayern - Stand 2012*.

Verein Deutscher Ingenieure (2012): *VDI 2067*.

Zugspitz Region GmbH (2019): „Solarpotenzialkataster Landkreis Garmisch-Partenkirchen“. Abgerufen am von https://www.solare-stadt.de/garmisch-partenkirchen/.