

INOLA-
Arbeitsbericht Nr. 3
Juli 2019
Aktualisierte Fassung

DAS NATURRÄUMLICHE UND TECHNISCHE POTENTIAL FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN IN DER MODELLREGION OBERLAND

Veronika Locherer, Andreas Süß, Monika Prasch, Wolfram Mauser, Jörg Reinhardt, Angelus Dillmann,
Wolfgang Mayer

Diese Studie wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) von 2014 bis 2019 geförderten Projekts INOLA (Innovationen für nachhaltiges Land- und Energiemanagement auf regionaler Ebene) erstellt. Für den Inhalt und die Ergebnisse der Studie sind die Autoren verantwortlich.

Autoren: Veronika Locherer, Andreas Süß, Monika Prasch, Wolfram Mauser (LMU München, Department für Geographie, Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung), Jörg Reinhardt, Angelus Dillmann (Hochschule Kempten, Research Centre Allgäu), Wolfgang Mayer (Hochschule Kempten, Fakultät für Maschinenbau)
© 2015, 2019

Kontakt: M.Sc. Veronika Locherer (ehem. Hofer)
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung
Department für Geographie
Ludwig-Maximilians-Universität München
Luisenstr. 37
80333 München
E-Mail: v.locherer@iggf.geo.uni-muenchen.de

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mayer
Fakultät für Maschinenbau
Energie und Umwelttechnik
Hochschule Kempten
Bahnhofstraße 61
87435 Kempten
E-Mail: wolfgang.mayer@hs-kempten.de

Alle **INOLA-Arbeitsberichte** sind auf der Projektseite www.inola-region.de verfügbar.

Bereits veröffentlichte INOLA-Arbeitsberichte:

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 1: Naturräumliche Gegebenheiten und räumliche Analyse der Energieanlagen in der Modellregion Oberland

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 2: Regionale Analyse des Energiesystems in der Modellregion Oberland

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 3: Das naturräumliche und technische Potential für Erneuerbare Energien in der Modellregion Oberland

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 4: Maßnahmenanalyse der Bürgerstiftung Energiewende Oberland

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 5: Akteure regionaler Energiewendeprozesse in der Modellregion Oberland. Rollen, Netzwerke, Potenziale

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 6: Akzeptanz der Energiewende im Oberland. Ergebnisse einer Passantenbefragung in ausgewählten Gemeinden der Modellregion Oberland

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 7: Szenarien, Zukunftswünsche, Vision. Ergebnisse der partizipativen Szenarienkonstruktion in der Modellregion Oberland

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 8: Bewertung der Energiewende im Oberland aus ökonomischer Sicht

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 9: Sanierungsverhalten von Hauseigentümern in Bayern. Vom ersten Gedanken zur tatsächlichen Umsetzung: Ergebnisse einer Haushaltsbefragung.

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 10: Simulation regionaler Energiepfade im Oberland bis 2035/2045. Akteursentscheidungen, Energie- und Stoffströme sowie ökonomische Effekte.

INOLA-Arbeitsbericht Nr. 11: Energiekompass für die Modellregion Oberland. Partizipativer multikriterieller Nachhaltigkeitsvergleich regionaler Energiepfade – Methodisches Vorgehen und Ergebnisse.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	XI
Gleichungsverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis	XIV
1 Einleitung	1
2 Methodisches Vorgehen	2
2.1 Einteilung der Potenziale.....	2
2.1.1 Theoretisches Potenzial.....	3
2.1.2 Technisches Potenzial.....	3
2.1.3 Wirtschaftliches Potenzial.....	3
2.1.4 Erschließbares Potenzial.....	4
2.1.5 Festlegung zur Potenzialanalyse	4
3 Potenzialanalyse Energiebedarf 2035	5
3.1 Bevölkerungswachstum und Zuwachs der Wohnfläche	5
3.2 Steigende EnEV-Anforderungen.....	7
3.3 Effizienzsteigerungen im Strom- und Wärmebereich gemäß EU-Energieeffizienz-Richtlinie (EU-EnEff-RL)	8
3.4 Annahmen der Energieeinsparungen gemäß Klimaschutzkonzepte der Region	10
3.5 Angenommene Endenergieeinsparungen bei der Potenzialanalyse	10
4 Potenziale beim Stromverbrauch der Landkreise	12
4.1 Potenziale beim Stromverbrauch der Haushalte	12
4.2 Potenziale beim Stromverbrauch der GHD und Industrie	15
4.3 Potenziale beim Teilssektor Straßenbeleuchtung	19
5 Einsparpotenziale beim Wärmebedarf der Landkreise	20
5.1 Potenziale beim Wärmebedarf der Haushalte	21
5.2 Potenziale beim Wärmebedarf der Wirtschaft	24

6	Potenzialanalyse der regenerativen Energieerzeugung	26
6.1	Allgemeine Anmerkungen zur Ermittlung der Energie-Potenziale	26
6.2	Photovoltaik/Solarthermie.....	26
6.2.1	Strahlungspotenzial	27
6.2.2	Neigungs- und Expositions Korrektur	28
6.2.3	Gebäudegebundene Anlagen	29
6.2.4	Photovoltaik-Freiflächenanlagen	34
6.2.5	Zusammenfassung Photovoltaik/Solarthermie.....	41
6.3	Wasserkraft	43
6.3.1	Potenzial laut Untersuchungen des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU).....	44
6.3.2	GIS-gestützte Potenzialanalyse	45
6.3.3	Technisches Potenzial.....	49
6.4	Pumpspeicher	50
6.5	Windkraft.....	52
6.5.1	Überblick über Windverhältnisse in der Region.....	52
6.5.2	Das natürliche Windkraftpotenzial der Region	53
6.5.3	Identifizierung geeigneter Flächen für Windenergieanlagen.....	55
6.5.4	Auswirkungen der 10H-Regelung.....	57
6.5.5	Regelungen im Regionalplan 17	57
6.5.6	Zusammenfassung Windkraft.....	59
6.6	Biomassenpotenziale zur energetischen Nutzung	60
6.6.1	Landwirtschaftliche Biomassenpotenziale	61
6.6.2	Alternativen für die Landwirtschaft im Energiepflanzenanbau	64
6.6.3	Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen (KUP)	64
6.6.4	Forstwirtschaftliche Potenziale	69
6.6.5	Sonstige Biomassepotenziale	73
6.6.6	Zusammenfassung Biomasse	75
6.7	Geothermie und Umweltwärme	76
6.7.1	Oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme	77

6.7.2	Tiefe Geothermie (Tiefengeothermie)	78
6.7.3	Technisches Potenzial.....	79
6.7.4	Zusammenfassung Geothermie	81
6.8	Klimawandel und dessen Einfluss auf Potenziale für Erneuerbare Energien.....	81
7	Zusammenfassung der Potenziale	89
7.1	Potenzial des Stromverbrauchs und der regenerativen Stromerzeugung.....	89
7.2	Potenzial des Wärmebedarfs und der regenerativen Wärmeerzeugung	91
	Literaturverzeichnis	95
	Anhang	102

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Differenzierung des Potenzialbegriffs in theoretisches, technisches, wirtschaftliches und erschließbares Potenzial (KALTSCHMITT et al. 2013)	3
Abbildung 3-2: Bilanzierung (**bis 2011, rote Linie) und Einschätzung (*ab 2011) des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik nach Sektoren für die Jahre 2007 bis 2020 (DENA 2012, EU 2012, DIW 2016).	8
Abbildung 4-1: Stromverbrauch 2014 und möglicher Strombedarf 2035 der drei Landkreise. Angenommene Einsparung innerhalb der privaten Haushalte, des öffentlichen Bereichs (15 %), der Industrie (10 %) und bei der Straßenbeleuchtung (25 %) (ELEKTRIZITÄTWERKE BÖBING E.G. 2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).....	12
Abbildung 4-2: Stromverbrauch 2014 und ermittelter Strombedarf der Haushalte bis 2035 (ELEKTRIZITÄTWERKE BÖBING E.G. 2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).....	13
Abbildung 4-3 Potenzial der Stromeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Weilheim-Schongau gegenüber dem Jahr 2014	14
Abbildung 4-4 Potenzial der Stromeinsparung bis 2035 der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Miesbach gegenüber dem Jahr 2014	14
Abbildung 4-5 Potenzial der Stromeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Bad Tölz-Wolfratshausen gegenüber dem Jahr 2014	15
Abbildung 4-6: Stromverbrauch 2014 und ermittelter Strombedarf des GHD-Sektors bis 2035. Annahme: 10 % Stromeinsparung bei GHD, Industrie und Kommunen bis 2035 sowie im Mittel 25 %-ige Stromeinsparung im Bereich der Straßenbeleuchtung (ELEKTRIZITÄTWERKE BÖBING E.G. 2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).....	16
Abbildung 4-7 Potenzial der Stromeinsparung der GHD, Kommunen und Industrie innerhalb der einzelnen Gemeinden des LK Weilheim-Schongau gegenüber dem Jahr 2014	17
Abbildung 4-8 Potenzial der Stromeinsparung bis 2035 der der GHD, Kommunen und Industrie innerhalb des Lk Miesbach gegenüber dem Jahr 2014	18
Abbildung 4-9 Potenzial der Stromeinsparung der einzelnen der GHD, Kommunen und Industrie innerhalb des LK Bad Tölz-Wolfratshausen gegenüber dem Jahr 2014	18
Abbildung 4-10: Stromeinsparpotenzial bei Straßenbeleuchtung durch Umstellung auf neue Leuchtmittel bis 2035, ausgehend vom heutigen Verbrauch der Straßenbeleuchtung der einzelnen Landkreise. Annahme: Im Mittel 25 % Einsparung (ELEKTRIZITÄTWERKE BÖBING E.G.	

2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).....	19
Abbildung 5-1: Wärmebedarf 2014 und ermittelter Wärmebedarf der Landkreise bis 2035 (Endenergie). Betrachtung der Bereiche private Haushalte, GHD, Industrie und Kommunen (Straßenbeleuchtung). Hierbei wurde eine Sanierungsrate von 20 % bis zum Jahr 2015 über alle Baualtersklassen berücksichtigt (BAYSTMUV et al. 2011, DESTATIS 2011, BAYLFSTAD 2015e, d).....	20
Abbildung 5-2: Wärmebedarf 2014 und ermittelter Wärmebedarf der Haushalte der Landkreise bis 2035 (Endenergie). Ausgehend von einem mittleren Energiebedarf von ca. 90 kWh/m ² a im Jahr 2035 und einer Sanierungsrate von 20 % über alle Baualtersklassen bis zum Jahr 2014 (BAYSTMUV et al. 2011, DESTATIS 2011, BAYLFSTAD 2015e, d).....	21
Abbildung 5-3: Potenzial der Wärmeeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Weilheim-Schongau gegenüber dem Jahr 2014	22
Abbildung 5-4 Potenzial der Wärmeeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Miesbach gegenüber dem Jahr 2014	23
Abbildung 5-5 Potenzial der Wärmeeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Bad Tölz-Wolfratshausen gegenüber dem Jahr 2014	23
Abbildung 5-6: Wärmebedarf 2014 und ermittelter Bedarf der GHD, Industrie und des öffentlichen Bereichs (Straßenbeleuchtung) bis 2035 für die einzelnen Landkreise. (DESTATIS 2011, BAYLFSTAD 2015e, d, INSTITUT WOHNEN UND UMWELT 2015).	24
Abbildung 6-1: Langjähriges Mittel der Jahressummen 1981-2010 der Globalstrahlung in der Region „Energiewende Oberland“.	27
Abbildung 6-2: Faktoren zur Korrektur der ankommenden Strahlungsmenge auf einer geeigneten Fläche für die vier Jahreszeiten Winter (①, DJF – Dezember bis Februar), Frühling (②, MAM – März bis Mai), Sommer (③, JJA – Juni bis August) und Herbst (④, SON – September bis November) aus dem Bayerischen Solaratlas (BAYSTMWIVT 2010).	28
Abbildung 6-3: Ausschnitt aus dem dreidimensionalen Gebäudemodell LoD2 des Landkreises Weilheim-Schongau (LDBV 2015c). Dargestellt sind die enthaltenen Gebäude sowie die Landnutzung der Stadt Weilheim i.OB (ADV 2015a).	30
Abbildung 6-4: Beispiel für verfügbare Energiemengen verschiedener Dachflächen nach Jahreszeiten (Karten ①-④) und in der Jahressumme (Karte ⑤).....	32
Abbildung 6-5: Gewässer mit Gewässerrandstreifen (5 m zu allen Seiten der Gewässer) sowie vorläufig gesicherte und nach § 76 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) festgesetzte Überschwemmungsflächen im Untersuchungsgebiet "Energiewende Oberland". Dadurch ergibt sich eine Gesamtausschlussfläche von 209 km ²	35
Abbildung 6-6: Waldflächen in der Region "Energiewende Oberland". Unter Berücksichtigung einer Pufferzone von 80 m ergibt sich eine Gesamtfläche von 2.114 km ²	36

Abbildung 6-7: Naturräumlich geeignete bzw. ungeeignete Flächen für die Installation von PV-Freiflächenanlagen in der Region "Energiewende Oberland". 544 km ² und damit gut 18 % der gesamten Gebietsfläche (2.944 km ²) werden nach naturräumlichen Kriterien als geeignet betrachtet.	37
Abbildung 6-8: Nicht bzw. eingeschränkt geeignete Flächen für die Installation von PV-Freiflächenanlagen in der Region "Energiewende Oberland" aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen.	38
Abbildung 6-9: Mittlere jährlich verfügbare Energiemenge (= Globalstrahlung) auf den geeigneten sowie bedingt geeigneten Flächen in der Region „Energiewende Oberland“ in kWh/m ² (eigene Berechnungen; DWD 2012).	40
Abbildung 6-10: Ungenutztes PV-Potenzial zur Stromerzeugung für Dach-, Fassaden- und Freiflächenanlagen	42
Abbildung 6-11: Ungenutztes Solarthermie-Potenzial zur Wärmeerzeugung für Dach- und Fassaden- und Freiflächenanlagen	42
Abbildung 6-12: Ergebnisse der Untersuchung von Neubaupotenzialen an bestehenden Querbauwerken sowie Ausbaupotenzialen vorhandener Wasserkraftanlagen in der Region "Energiewende Oberland" (LfU).	45
Abbildung 6-13: Ergebnis der GIS-gestützten Potenzialanalyse. Dargestellt sind die vorhandenen Wasserkraftanlagen (blau) sowie das energetische Potenzial einzelner Rasterzellen in MWh/a. Dabei wurde zur besseren Lesbarkeit ein Schwellwert von 10 MWh/a gewählt. Im Hintergrund ist jeweils die Summe des energetischen Potenzials pro Gemeinde dargestellt.	48
Abbildung 6-14: Ungenutztes Potenzial der Wasserkraftanlagen	50
Abbildung 6-15: Mittlere Windgeschwindigkeiten in 160 m Höhe (1980-2010) über Grund und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA).	53
Abbildung 6-16: Abschätzung der Volllaststunden einer 2-MW-WKA in 160 m Höhe über Grund und Lage der Vorranggebiete (VRG). Angegeben sind die Mittelwerte der Volllaststundenbereiche 450-750, >750-1050, >1050-1350, >1350-1650 und >1650-1950. .	54
Abbildung 6-17: Prozentuale Verteilung der verschiedenen Volllaststundenbereiche auf den Flächen der Region „Energiewende Oberland“.	55
Abbildung 6-18: Räumliche Darstellung der Gebietskulisse Windkraft der Region „Energiewende Oberland“ nach rein naturräumlichen Gesichtspunkten.	56
Abbildung 6-19: Auswirkungen des Regionalplans und der 10H-Regelung auf das Potential für Windkraft. Grüne Flächen zeigen die potenziell geeigneten Flächen, blau schraffiert ist das Ausschlussgebiet des RP17, rot schraffiert die Bereiche, die durch die 10H-Regelung ausgeschlossen werden. Die weiß und gelb eingefärbten Flächen stellen die Weißen Flächen bzw. VRG gem. RP17 dar.	59

Abbildung 6-20: Potenziale der Stromerzeugung durch Windkraft unter Berücksichtigung verschiedener rechtlicher Rahmenbedingungen	60
Abbildung 6-21: Langfristiges Ertragspotenzial von Pappel-KUP bez. auf die Trockenmasse auf allen Flächen der Nutzung „Landwirtschaft“ (AdV 2015b). Annahmen: optimale Bestandes-Etablierung, Auswahl wüchsiger Klone, geeignete Bestandes-Dichte und eine Umtriebsdauer von 5 – 7 Jahren.....	65
Abbildung 6-22: Langfristiges Ertragspotenzial von Pappel-KUP bez. auf die Trockenmasse auf allen Flächen der Nutzung „Ackerland“ (AdV 2015b). Annahmen: optimale Bestandes-Etablierung, Auswahl wüchsiger Klone, geeignete Bestandes-Dichte und eine Umtriebsdauer von 5 – 7 Jahren.	65
Abbildung 6-23: Langfristige Biomassenpotenziale (theoretisch) von Pappel-KUP auf Flächen der Nutzung „Ackerland“ und „Landwirtschaft“ in den Landkreisen der Region sowie der Gesamtregion „Energiewende Oberland“. Die dargestellten Daten basieren auf LWF (2015).	67
Abbildung 6-24: Darstellung der theoretischen und nach derzeitigen Rahmenbedingungen (rechtlich und technisch) nutzbaren Biomassenpotenziale in Tausend t/a für Pappel-KUP auf Flächen der Nutzung „Ackerland“ in den Landkreisen der Region sowie der Gesamtregion „Energiewende Oberland“. Die dargestellten Daten basieren auf LWF (2015).	67
Abbildung 6-25: Biomassenpotenzial auf Ackerflächen mit guter Wasserversorgung aber relativ geringer natürlicher Ertragsfähigkeit (Ackerzahl). Gemeinden in denen die nötigen Eingangsdaten für die Identifizierung solcher Flächen nicht vorliegen, sind von der Darstellung ausgeschlossen (Reliefhintergrund).....	69
Abbildung 6-26: Die Karte gibt Auskunft über das jährlich nutzbare Energiepotenzial aus Waldholz in den Gemeinden der Region „Energiewende Oberland“.	70
Abbildung 6-27: Die Karte gibt Auskunft über das jährlich nutzbare Energiepotenzial aus Waldholz je ha Gemeindefläche.....	70
Abbildung 6-28: Ungenutztes Biomassepotenzial zur Stromerzeugung in der Region „Energiewende Oberland“.	76
Abbildung 6-29: Ungenutztes Biomassepotenzial zur Wärmeerzeugung in der Region „Energiewende Oberland“.	76
Abbildung 6-30: Temperaturverteilung der Region „Energiewende Oberland“ in 250 m Tiefe (BAYStMWIVT 2012).	78
Abbildung 6-31: Erlaubnisse für gewerbliche Aufsuchung für Erdwärme in der Region "Energiewende Oberland" (BAYStMWi 2016b)	79
Abbildung 6-32: Ungenutztes Potenzial der Geothermie für Strom- und Wärmeerzeugung.....	81

Abbildung 6-33: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.	83
Abbildung 6-34: Entwicklung der Jahresniederschlagssumme in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.....	83
Abbildung 6-35: Entwicklung des Sommer- (links) und Winterniederschlags (rechts) in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.....	83
Abbildung 6-36: Differenz der Jahresmitteltemperatur in der Region Energiewende Oberland zwischen der Szenarioperiode von 2031 – 2060 zur Vergangenheit von 1961 – 1990 für die Szenarien IPCC (oben) und Remo (unten).	84
Abbildung 6-37: Differenz der mittleren Jahresniederschlagssumme in der Region „Energiewende Oberland“ zwischen der Szenarioperiode von 2031 – 2060 zur Vergangenheit von 1961 – 1990 für die Szenarien IPCC (oben) und Remo (unten).	85
Abbildung 6-38: Entwicklung des Schneeniederschlags in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.	86
Abbildung 6-39: Entwicklung der Verdunstungssummen der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.	87
Abbildung 6-40: Entwicklung des Abflusses am Pegel Weilheim an der Ammer für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.	87
Abbildung 6-41: Entwicklung des Abflusses am Pegel Landsberg am Lech für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.	88
Abbildung 7-2:Gegenüberstellung des Stromverbrauchs im Jahr 2014 und im Jahr 2035 für die einzelnen Landkreise und die gesamte Region Energiewende Oberland.	91
Abbildung 7-3: Potenzial Erneuerbarer Energien für die Wärmeproduktion pro Jahr in der Region Energiewende Oberland im Vergleich zum derzeitigen und potenziellen Wärmebedarf im Jahr 2035.	93
Abbildung 7-4: Gegenüberstellung des Wärmebedarfs im Jahr 2014 und im Jahr 2035 für die einzelnen Landkreise und die gesamte Region Energiewende Oberland.	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Entwicklung Wohnungsanzahl und Wohnungsfläche in Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG) (BAYLFSTAD 2015b, c, d).....	6
Tabelle 6-1: Beispielrechnung zur Korrektur der Globalstrahlungswerte in Abhängigkeit von Dachneigung (25°) und Ausrichtung (südlich) anhand einer Dachfläche am Standort Bad Tölz. Die Korrekturfaktoren (ç) sind Abbildung 6-2 ①-④ entnommen.....	29
Tabelle 6-2: Potential zur Nutzung von Sonnenenergie auf Dach- und Fassadenflächen in der Region Oberland (LDBV 2015a, c).....	33
Tabelle 6-3: Potential zur Nutzung von Sonnenenergie auf Freiflächen in der Region Oberland.	41
Tabelle 6-4: Theoretisches Energiepotenzial für Wasserkraft in den drei Landkreisen der Region „Energiewende Oberland“.	48
Tabelle 6-5: Potenzial für Querbauten zu Wasserkraftnutzung innerhalb der Region Oberland.....	49
Tabelle 6-6: „TOP-Standorte“ für PSW in der Region „Energiewende Oberland“ auf Basis der vom bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in Auftrag gegebenen Analyse von Pumpspeicherpotenzialen in Bayern (LFU 2014a).....	51
Tabelle 6-7: Naturräumliches Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“..	57
Tabelle 6-8: Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“ unter Berücksichtigung der 10H-Regelung.	57
Tabelle 6-9: Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“ unter Berücksichtigung der Regelungen des Regionalplans 17.	58
Tabelle 6-10: Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“ unter Berücksichtigung der 10H-Regelung sowie der Regelungen des Regionalplans 17.....	59
Tabelle 6-11: Das unter derzeitigen Anbaubedingungen vorhandene Maisbiomassenpotenzial für die Region „Energiewende Oberland“, welches theoretisch zur Wärme-bzw. Stromproduktion zur Verfügung steht (BAYLFSTAD 2015a)	61
Tabelle 6-12 Potentieller Energieertrag für Strom und Wärme in Biogasanlagen aus Maissilage in der Region Oberland.....	62
Tabelle 6-13: Das unter derzeitigen Anbaubedingungen vorhandene Biomassenpotenzial aus der Dauergrünlandnutzung in der Region „Energiewende Oberland“, welches theoretisch zur Wärme- bzw. Stromproduktion zur Verfügung steht (BAYLFSTAD 2015a).....	63
Tabelle 6-14 Potentieller Energieertrag für Strom und Wärme in Biogasanlagen aus Grassilage in der Region Oberland.....	63
Tabelle 6-15 Heizwert und Wärmeertrags-Potenzial von mittels Kurzumtriebsplantagen (KUP) betriebenen Heizkraftwerken zur Heizwärmebereitstellung innerhalb der Region Oberland	68

Tabelle 6-16: Jährlich nachhaltig nutzbares Energieholzpotenzial	71
Tabelle 6-17 Laubholzenergieholzpotenzial innerhalb der Region Oberland	72
Tabelle 6-18 Nadelholzenergieholzpotenzial innerhalb der Region Oberland	72
Tabelle 6-19 Waldenergieholzpotenzial innerhalb der Region Oberland	72
Tabelle 6-20 Verfügbarkeit und Energiegehalt von Biomethan in der Region Oberland.	73
Tabelle 6-21: Potentieller Strom- und Wärmeertrag aus Tierexkrementen in der Region Oberland. .	73
Tabelle 6-22 Anfallende Mengen an Grün- und Bioabfällen der drei Landkreise in den Jahren 2012 bis 2014	74
Tabelle 6-23 Energiepotenzial des Straßenbegleitgrüns innerhalb der drei Landkreise Weilheim- Schongau, Miesbach und Bad Tölz-Wolfratshausen	75
Tabelle 6-24 Potenzial der Tiefengeothermie innerhalb der drei Landkreise.....	80
Tabelle 6-25 geschätztes Gesamtpotenzial der oberflächennahen Geothermie in der Region Oberland	81

Gleichungsverzeichnis

Gleichung 1: Allgemeine Wasserhaushaltsgleichung	45
Gleichung 2: Vereinfachte allgemeine Wasserhaushaltsgleichung	46
Gleichung 3: Gleichung für potenzielle Energie	46
Gleichung 4: Gleichung zur Berechnung der potenziellen Wasserkraftenergie	47
Gleichung 5: Abschätzung der pflanzenverfügbaren Wassermenge in der Vegetationszeit	68

Abkürzungsverzeichnis

ASE	Allgemeinen Agrarstrukturerhebung
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BauGB	Baugesetzbuch
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BWI 3	Bundeswaldinventur 3
DGM	Digitales Geländemodell
DGS	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
DJF	Wintermonate (Dezember/ Januar/ Februar)
DSchG	Denkmalschutzgesetz
DWD	Deutscher Wetterdienst
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EWO	Region Energiewende Oberland
EKW	Energiekennwert (Energieverbrauchswert, Energiebedarfswert)
FFH	Fauna-Flora-Habitat
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geographisches Informationssystem
GMH	Großes Mehrfamilienhaus
GWh_{el}	Gigawattstunde elektrisch. Entspricht 1.000.000 kWh _{el}
GWh_{th}	Gigawattstunde thermisch. Entspricht 1.000.000 kWh _{th}

H_i	Heizwert
INFOWAS	wasserwirtschaftliche Informationssystem
INOLA	Innovationen für ein nachhaltiges Land- und Energiemanagement auf regionaler Ebene
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPZ	Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
JJA	Sommermonate (Juni/ Juli/ August)
KLIMAGEN	Klimagenerator
KUP	Kurzumtriebsplantage
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt Peak, Kilowattzahl
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LFU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LoD2	3D-Gebäudemodell, „Level of Detail: 2“
LRT	Lebensraumtypflächen
LWF	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
LWG	Landesanstalt für Wein- und Gartenbau
LZ	Landwirtschaftszählung
MAM	Frühlingsmonate (März/ April/ Mai)
MB	Landkreis Miesbach
MWh_{el}	Megawattstunde elektrisch. Entspricht 1.000 kWh _{el}
MWh_{th}	Megawattstunde thermisch. Entspricht 1.000 kWh _{th}
MFH	Mehrfamilienhaus
NWG	Nichtwohngebäude

OB	Oberbayern
PSW	Pumpspeicherwerke
PV	Photovoltaik
RAA	Richtlinie für die Anlage von Autobahnen
RAS	Richtlinie für die Anlage von Straßen
Remo	Regional Modell
RH	Reihenhaus
RP17	Regionalplan 17
SON	Herbstmonate (September/ Oktober/ November)
SPA	Special Protection Area
ST	Solarthermie
SVB	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte
TFZ	Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
TÖL	Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen
TWh_{el}	Terrawattstunde elektrisch. Entspricht 1.000.000.000 kWh _{el}
TWh_{th}	Terrawattstunde thermisch. Entspricht 1.000.000.000 kWh _{th}
ÜBK25	Übersichtsbodenkarte von Bayern im Maßstab 1:25.000
VRG	Vorranggebiete
WEA	Windenergieanlage
WG	Wohngebäude
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WKA	Windkraftanlage

WRRL Europäische Wasserrahmenrichtlinie

WM Landkreis Weilheim-Schongau

1 Einleitung

Die Landkreise Miesbach, Bad Tölz-Wolfratshausen und Weilheim-Schongau haben per Kreistagsbeschluss das Ziel einer bis 2035 allein durch Erneuerbare Energien (EE) sichergestellten Energieversorgung formuliert. Zusammen mit der Region erarbeitet das Projekt INOLA (Innovationen für ein nachhaltiges Land- und Energiemanagement auf regionaler Ebene) Lösungsansätze, wie dieses ambitionierte Ziel in der Region umgesetzt werden kann. Um mögliche Entwicklungspfade zu erarbeiten und deren Chancen und Risiken zusammen mit der Region zu erörtern, ist zunächst eine wissenschaftlich fundierte Analyse der Energiepotenziale durch Erneuerbare Energien für das Gebiet der Region „Energiewende Oberland“ notwendig.

Die vom Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung der Ludwig-Maximilians-Universität München und der Hochschule Kempten (Forschungsschwerpunkt Energiesysteme und Energietechnik) durchgeführte Potenzialanalyse berücksichtigt dabei folgende Erneuerbare Energien:

- Photovoltaik/Solarthermie
- Wasserkraft
- Windkraft
- Biomasse/Biogas
- Geothermie
- Pumpspeicher

Ziel dieses Berichts ist es, regionsspezifische Informationen zu den vorhandenen Energiepotenzialen zusammenzutragen, um damit eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Lösungsansätzen für eine nachhaltige Energieversorgung und Landnutzung in der Region zu schaffen. Die dargestellte Potenzialanalyse für erneuerbare Energien (EE) baut dabei auf eine vorangegangene Bestands-Analyse der Energiesituation in der Region auf. Diese enthält die explizite und räumlich differenzierte Betrachtung der naturräumlichen Gegebenheiten in der Region, eine flächendeckende Erfassung aller bestehenden EE-Anlagen und Speichersysteme sowie des Energieverbrauchs.

Die regionsspezifischen Rahmenbedingungen und Ertragspotenziale werden in einem Geographischen Informationssystem (GIS) in Form von Karten oder Abbildungen so aufbereitet, dass sie in der Innovationsgruppe und auch im größeren Rahmen mit den Akteuren der Region diskutiert werden können. Zudem liefert diese Analyse die Basis für die Entwicklung des Konsenstools und die Simulation der Handlungsketten in Arbeitspaket 4 bzw. 6 des Projektes.

2 Methodisches Vorgehen

Die Potenzialanalyse der verschiedenen regenerativen Energieerzeugungsformen erfolgte jeweils separat, ohne Berücksichtigung der anderen Energieerzeugungsarten. In der Analyse identifizierte Flächen können demnach prinzipiell für mehrere regenerative Energieerzeugungsarten geeignet sein. Die jeweils ermittelten Potenziale dürfen somit nicht aufsummiert werden. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Flächenkonkurrenz zwischen gebäudegebundenen Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen, für die dieselben Voraussetzungen gelten. Jede Potenzialangabe geht von einer ausschließlichen Nutzung der Flächen durch die jeweilige Erzeugungsart aus!

Die Analysen beziehen sich dabei zunächst auf die naturräumlichen Potenziale für erneuerbare Energien in der Region „Energiewende Oberland“. Die quantifizierten Energiepotenziale beschreiben also erst einmal, wieviel Energie aufgrund der naturräumlichen Ausstattung der Region verfügbar ist. In einem weiteren Schritt werden die aktuell vorherrschenden rechtlichen Rahmenbedingungen, wie etwa die Nutzungseinschränkungen in Trinkwasser- und Landschaftsschutzgebieten oder Abstandsregelungen in die Analyse miteinbezogen. Daraus geht hervor, wie viel Fläche - nach derzeitigen Rahmenbedingungen - überhaupt für die Nutzung der einzelnen Energiearten in der Region zur Verfügung steht. Das Endresultat der Analyse ist die Abschätzung derjenigen Energiemenge, die jeweils z. B. durch Solar- oder Windkraft auf diesen Flächen produziert werden könnte. Betriebswirtschaftliche Überlegungen (z. B. teure Erschließung, geringer Auslastungsgrad) sind bei der Analyse zunächst nicht berücksichtigt.

Zu berücksichtigen ist, dass die berechneten Energiepotenziale starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterliegen können. Insbesondere kann es zu starken tageszeitlichen und saisonalen Variationen kommen, aber auch zu Unterschieden innerhalb der betrachteten Zeitspanne. Wenn nicht besonders gekennzeichnet, sind im Rahmen dieser Analyse durchschnittliche Jahressummen vorhandener Energie-Potenziale dargestellt. Der Einfluss des Klimawandels auf die Potenziale Erneuerbarer Energien in der Region wird gesondert in Kapitel 0 erläutert.

2.1 Einteilung der Potenziale

Ein Potenzial ist zunächst einmal die Möglichkeit etwas bisher noch nicht Genutztes auszuschöpfen. Bei der Potenzialdarstellung wird nach KALTSCHMITT et al. (2013, S.56f) in theoretisches, technisches, wirtschaftliches sowie erschließbares Potenzial unterschieden. Wirtschaftliche und erschließbare Potenziale werden durch politische und unternehmerische Entscheidungen beeinflusst. Daneben sind vorherrschende rechtliche Rahmenbedingungen wie bereits geschilderte Nutzungseinschränkungen in Trinkwasser- und Landschaftsschutzgebieten oder Abstandsregelungen in die Analyse miteinzubeziehen, was innerhalb einer differenzierten naturräumlichen Potenzialanalyse geschieht. Bei der Potenzialanalyse ist dementsprechend zu unterscheiden, welche Potenzialbetrachtung zugrunde gelegt wird.

In der nachfolgenden Analyse werden unterschiedliche Varianten der Energieversorgung mittels erneuerbarer Energien bis 2035 innerhalb des naturräumlichen Potenzials betrachtet.

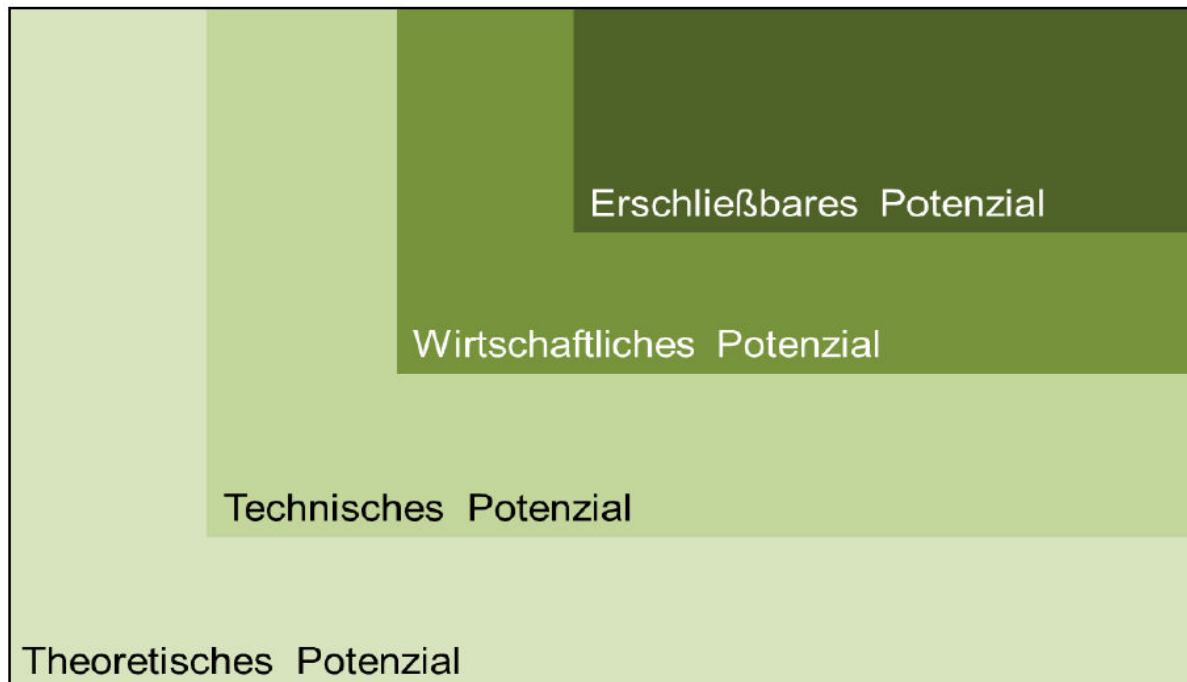


Abbildung 2-1 Differenzierung des Potenzialbegriffs in theoretisches, technisches, wirtschaftliches und erschließbares Potenzial (KALTSCHMITT et al. 2013)

2.1.1 Theoretisches Potenzial

Mit dem theoretischen Potenzial einer regenerativen Energie wird aufgezeigt, wieviel Energie innerhalb einer Untersuchungsregion und einer definierten Zeitspanne theoretisch physikalisch erschließbar wäre. Beispielsweise ließe sich die gesamte zur Verfügung stehende Globalstrahlung als theoretisches physikalisches Potenzial beschreiben. Aufgrund der technisch begrenzten Umwandelbarkeit der Energie sowie von strukturellen und administrativen Gegebenheiten kann das theoretische Potenzial meist nur in sehr geringen Teilen erschlossen werden.

2.1.2 Technisches Potenzial

Das technische Potenzial ist ein Teil des theoretischen Potenzials, welches unter den gegebenen Restriktionen der Energieumwandlungstechniken nutzbar ist. Zusätzlich dazu werden die aktuell vorherrschenden rechtlichen Rahmenbedingungen, wie etwa die Nutzungseinschränkungen in Trinkwasser- und Landschaftsschutzgebieten oder Abstandsregelungen mit berücksichtigt. Diese Rahmenbedingungen sind fest verankert und damit zumindest derzeit „unüberwindbar“.

2.1.3 Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial ist der Anteil des technischen Potenzials, welcher im Kontext der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen wirtschaftlich genutzt werden kann. Neben den Einflusspa-

rametern des technischen Potenzials wird seine Bandbreite sehr stark von konventionellen Vergleichssystemen und den jeweiligen Energieträgerpreisen beeinflusst. Das wirtschaftliche Potenzial ist daher auch zeitabhängig. Außerdem ist die Wirtschaftlichkeit selbst eine relative Größe, da sie von einer Reihe unterschiedlicher Parameter abhängig ist (u. a. Zinssatz, Abschreibedauer, Eigenkapitalanteil, geforderte Eigenkapitalverzinsung). Das wirtschaftliche Potenzial wird zusätzlich davon beeinflusst, aus welcher Sichtweise die Wirtschaftlichkeit jeweils bestimmt wird. Deshalb ist zwischen einem wirtschaftlichen Potenzial aus volks- und aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu unterscheiden.

2.1.4 Erschließbares Potenzial

Mit dem erschließbaren Potenzial wird der zu erwartende Beitrag einer Option zur Nutzung der regenerativen Energieversorgung bezeichnet. Das erschließbare Potenzial ist geringer als das technische und das wirtschaftliche Potenzial und hängt in erster Linie von den begrenzten Herstellerkapazitäten und der Funktionsfähigkeit von vorhandenen, noch nicht abgeschriebenen Konkurrenzsystemen sowie von einer Vielzahl weiterer Hemmnisse ab (beispielsweise mangelnde Information, rechtliche und administrative Begrenzungen, emotionale Vorbehalte gegen eine bestimmte Technik, usw.). Das erschließbare Potenzial ist somit insbesondere auch abhängig vom Planungszeitpunkt einer möglichen Investition in erneuerbare Energien.

2.1.5 Festlegung zur Potenzialanalyse

Innerhalb dieser Potenzialanalyse liegt der Fokus auf dem technischen Potenzial, d.h. den Teil der Potenziale, welcher bei gegebenen Energieumwandlungstechniken sowie unter Beachtung der aktuell geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen nutzbar ist. Es wird daher keine Aussage darüber getroffen, ob die betrachteten erneuerbaren Energien unter den gegebenen Rahmenbedingungen wirtschaftlich erscheinen oder nicht, bzw. ob dieses Potenzial unter den gegebenen technischen und administrativen Gegebenheiten auch vollständig erschlossen werden kann.

3 Potenzialanalyse Energiebedarf 2035

Um den wärme- und stromseitigen Energiebedarf bis in das Jahr 2035 abschätzen zu können, richtet sich die Potenzialanalyse maßgeblich nach der EU-Energieeffizienz-Richtlinie (EU 2012). Diese gilt seit 2012 für alle EU-Mitgliedsländer verpflichtend und beschreibt Effizienzsteigerungen im Strom- und Wärmebereich bis ins Jahr 2020. Zu den Kernpunkten der Energie-Effizienz-Richtlinie zählen u. a.:

- Festlegung nationaler Energieeffizienzziele für 2020
- Sanierungsrate für Gebäude der Zentralregierung von 3 Prozent pro Jahr
- verpflichtende Energieeinsparung der Mitgliedstaaten im Zeitraum 2014 bis 2020 von jährlich durchschnittlich 1,5 Prozent
- verpflichtende Durchführung regelmäßiger Energieaudits in großen Unternehmen
- Kraft-Wärme-Kopplung: verpflichtende Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse bei Neubau oder Modernisierung von Kraftwerken und Industrieanlagen

Effizienzverpflichtungen werden durch externe Einflussfaktoren geprägt, wie z.B. die Bevölkerungsentwicklung, Zuwachs der Wohnflächen, Zuwachs an technischen Geräten und Entwicklung der Energiepreise sowie dem Umgang der Bevölkerung mit Energie. Insbesondere aufgrund der Verteuerung der Energie sowie gesetzlichen Verordnungen, wie beispielsweise steigenden EnEV-Anforderungen, ergibt sich in Summe ein Trend zur Einsparung von Wärme und Strom, wie im Folgenden erläutert wird.

3.1 Bevölkerungswachstum und Zuwachs der Wohnfläche

Innerhalb der Ist- und Potenzialanalyse wurden Prognosen des BAYERISCHEN LANDESAMTS FÜR STATISTIK 2015A verwendet, welche besagen, dass die Bevölkerungsanzahl innerhalb der drei Landkreise der betrachteten Modellregion in den nächsten 20 Jahren geringfügig ansteigt. In Bad Tölz-Wolfratshausen wird im Vergleich zum Jahr 2014 (123.000 Einwohner) bis zum Jahr 2035 mit einem Anstieg um ca. 6 % auf etwa 130.200 Einwohner gerechnet. In Miesbach wird von einem Anstieg von 96.800 Einwohnern um ca. 4 % auf etwa 100.900 Einwohner und in Weilheim-Schongau von einem Bevölkerungszuwachs von 130.900 Einwohnern um +2 % auf 133.400 Einwohner ausgegangen.

Aus Tabelle 3-1, zusammengestellt aus den Landkreisdaten der „Statistik Kommunal“ geht hervor, dass sowohl die Wohnungsanzahl als auch die Wohnfläche und die Wohnfläche pro Wohnung seit 1995 kontinuierlich angewachsen ist. Begründen lässt sich ein Zuwachs an Wohnfläche insbesondere durch den bereits aufgezeigten moderaten Zuwachs der Bevölkerung innerhalb der Landkreise. (BAYLFSTAD 2015b, c, d).

Tabelle 3-1: Entwicklung Wohnungsanzahl und Wohnungsfläche in Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG) (BAYLFSTAD 2015b, c, d).

Jahr	Bad Tölz-Wolfratshausen			Miesbach			Weilheim – Schongau		
	Anz. Whg.	Wohnfläche	Ø-Fläche	Anz. Whg.	Wohnfläche	Ø-Fläche	Anz. Whg.	Wohnfläche	Ø-Fläche
1995	46.166	4.339.545	94,0	39.929	3.744.901	93,8	49.893	4.744.356	95,1
2010	55.515	5.361.421	96,6	46.888	4.498.611	95,9	60.238	5.938.459	98,6
2011	58.147	5.705.750	98,1	48.872	4.885.932	100,0	61.511	6.275.570	102,0
2012	58.623	5.761.436	98,3	48.995	4.903.566	100,1	62.028	6.337.147	102,2

Bevölkerungs- und Wohnraumentwicklung bedingen auch einen Zuwachs an technischen Geräten. Dies äußert sich zunächst in einem Anstieg des Strombedarfs, da mehr technische Geräte naturgemäß auch mehr Strom verbrauchen. Andererseits besteht, insbesondere durch die europäische Energieeffizienzrichtlinie 2012/27/EU eine Verpflichtung von Seiten der Hersteller durch Neugeräte Primärenergie einzusparen (EU 2012). Somit ergibt sich in Summe eine Reduzierung des Strombedarfs aufgrund von Effizienzsteigerung und Energieeinsparung. So benötigen beispielsweise neu installierte „Smart Home“-Systeme zum Betrieb zunächst zusätzlichen Strom, sparen jedoch gleichzeitig wiederum Strom ein, da einzelne Energieeinsparungspotenziale durch eine bessere Überwachung und Steuerung der einzelnen Haushaltsgeräte, Raumheizung und Warmwasserbereitung besser aufgespürt werden können.

Ein hoher Anteil des Endenergieverbrauchs privater Haushalte fließt in die Wärmeversorgung von Gebäuden, insbesondere Heizung und Warmwasser. In Deutschland ist der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in den vergangenen zehn Jahren trotz leicht gestiegener Wohnfläche um rund 20 % zurückgegangen. Der Rückgang ist hauptsächlich auf energetische Sanierungsmaßnahmen von Wohngebäuden sowie Modernisierung zurückzuführen. Ein weiterer, wesentlicher Einflussfaktor sind Verhaltensänderungen der Wohngebäudenutzer beim Heizen und Lüften, teilweise auch getrieben durch stark gestiegene Energiepreise (DENA 2012).

Der Stromverbrauch der privaten Haushalte änderte sich in der Vergangenheit nur geringfügig. Einerseits sinkt der Verbrauch von Weiße-Ware-Geräten, wie zum Beispiel Kühl- und Waschgeräten, jedoch werden die dort erzielten Einsparungen durch die Zunahme im Gerätebestand insgesamt sowie der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) aufgebraucht (DENA 2012). Gemäß (KRZIKALLA et al. 2013) wird sich der Stromverbrauch bis zum Jahr 2020 aufgrund von Effizienzverbesserungen leicht reduzieren und anschließend wieder geringfügig ansteigen, da Elektromobilität und Wärmepumpen stärker in den Markt dringen werden.

3.2 Steigende EnEV-Anforderungen

Gemäß der EU-Richtlinie 2010/31/EU „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ sind nach dem 31. Dezember 2020 errichtete Wohn-Neubauten als Niedrigstenergiegebäude auszuführen. Das Niedrigstenergiegebäude wird gemäß Richtlinie als ein Haus verstanden, das eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweist. „Der fast bei null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden.“ (Art. 2 Abs. 2 EU 2010).

Nach dem INSTITUT WOHNEN UND UMWELT 2015 ist die Einführung von Niedrigstenergiegebäuden durch das Energieeinsparungsgesetz von 2012 bereits beschrieben. Zwar gibt es noch keine gesetzlich geregelte Definition, dennoch scheint das „KfW-Effizienzhaus 40“ mit einem spezifischen Heizenergiebedarf kleiner 25 kWh/m²a ein geeigneter Standard zu sein, um das von der EU geforderte Niedrigstenergiehaus für Wohngebäude in Deutschland im Jahr 2020 zu repräsentieren (INSTITUT WOHNEN UND UMWELT 2015).

Gemäß DENA 2012:75^F beträgt die Sanierungsrate in Deutschland etwa ein bis zweieinhalb Prozent pro Jahr. Der durchschnittliche Energieverbrauchswert in Deutschland von derzeit etwa 160 kWh/m²a (WALBERG 2012) würde damit erst innerhalb der nächsten 35 Jahre auf den Wert eines Niedrigenergiegebäudes, d.h. unter 80 kWh/m²a, sinken. Ein großer Anteil des bundesdeutschen Gebäudebestandes befindet sich derzeit jedoch noch in den Baualtersklassen D, E und F (60er-70er Jahre), welche hohe Energieverbrauchswerte zwischen 160 kWh/m²a und 240 kWh/m²a aufweisen. Erst durch die beschriebene Sanierungsrate findet demnach eine verzögerte Annäherung des Wohnungsbestandes an den EnEV-Standard statt. Neben Neubauten gelten die Energieverbrauchswert-Anforderungen auch für energetische Sanierungen im Bestandswohnungsbau. Somit sind auch bei Sanierungsmaßnahmen die zu erfüllenden Mindestgrenzwerte der EnEV verpflichtend.

Plus-Energie- sowie Null-Energie-Häuser zeichnen sich neben der Eigenerzeugung mittels regenerativer Energie durch unterschiedliche bauliche Maßnahmen aus. Hierbei kommt bauphysikalischen Maßnahmen – beispielsweise einer besseren Gebäudedämmung, Erhöhung des Fensteranteils und Erhöhung der Fensterdämmwerte – eine besondere Bedeutung zu. Des Weiteren ist in der Regel die Gebäudehülle verbessert: Es besteht eine gute Gebäudedichtigkeit und die Gebäude verfügen über große Dach- und Fensteranteile nach Süden, zur Erzielung maximaler Wärmegewinne. Mit dem Passivhaus-Standard können theoretisch Heizwärmebedarfe von unter 15 kWh/m²a erreicht werden. Neubauten sollten gemäß dem Gesetzgeber generell die Anforderungen der EnEV unterbieten.

3.3 Effizienzsteigerungen im Strom- und Wärmebereich gemäß EU-Energieeffizienz-Richtlinie (EU-EnEff-RL)

Abbildung 3-1 veranschaulicht den bilanzierten bzw. eingeschätzten Primär- und Endenergieverbrauch für die Jahre 2007 bis 2020 gemäß der EU-EnEff-Richtlinie nach Sektoren der BRD (DENA 2012, EU 2012).

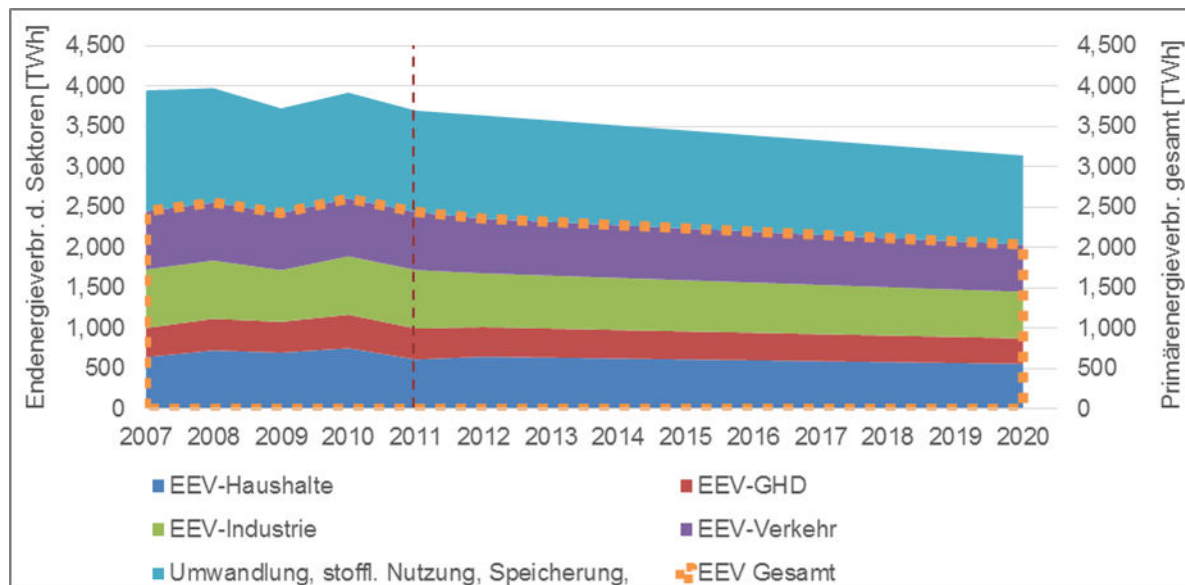


Abbildung 3-2: Bilanzierung (**bis 2011, rote Linie) und Einschätzung (*ab 2011) des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik nach Sektoren für die Jahre 2007 bis 2020 (DENA 2012, EU 2012, DIW 2016).

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland umfasst die Bereiche Gewinnung, Umwandlung, Verluste und Bereitstellung von Energieträgern sowie die stoffliche Nutzung. Des Weiteren sind der Endenergieverbrauch der Industrie, des Verkehrs, der Haushalte sowie von Gewerbe, Handel und der Dienstleistungen enthalten.

Aus Abbildung 3-2 wird ersichtlich, dass sich der gesamte Primärenergiebedarf der BRD bis ins Jahr 2020 von 4.000 TWh auf etwa 3.200 TWh reduziert. Der gesamte heutige Primärenergieverbrauch setzt sich zu etwa zwei Dritteln aus den Endenergieverbräuchen der einzelnen Bereiche und einem Drittel Umwandlung, stoffliche Nutzung und Speicherung zusammen. Die Berichtspflicht der Industrie an die Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen dient als Datengrundlage - eine wirklich scharfe Abgrenzung zu Gewerbe, Handel und Dienstleistungen besteht allerdings nicht (DIW 2016). Der Endenergieverbrauch für Haushalte bzw. Gewerbe, Handel und Dienstleistungen wird teils über Verbrauchserfassung sowie Modellrechnungen ermittelt.

Die Primärenergieeinsparung ergibt sich anteilig aus den einzelnen Sektoren. Im Jahr 2013 verteilte sich der gesamte Primärenergieverbrauch auf die Bereiche Haushalte (18 %), Verkehr (19 %), Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) (10 %), Industrie & verarbeitendes Gewerbe (18 %) sowie Umwandlung und Verluste, Speicherung und stoffliche Nutzung (34 %) (DIW 2016). Gemäß DENA (2012) wurden auf Basis der Arbeitsergebnisse aus DIW (2016), PROGNO AG et al. (2010), PEHNT et al. (2011)

sowie anhand von Metaanalysen und dena-Expertenschätzungen zwei Szenarien entwickelt, welche den zukünftigen Verbrauch von Primärenergie innerhalb der einzelnen Sektoren beschreiben.

Das „*Business-as-usual*“-Szenario (BAU-Szenario) spiegelt die aktuellen politischen Rahmenbedingungen und zu erwartende wirtschaftliche Entwicklungen in Deutschland wider, schreibt diese bis 2020 fort und orientiert sich am Referenzszenario gem. PROGNOS AG et al. (2010). Das *Effizienz-Szenario*, welches auf einer Metaanalyse existierender Studien zu technischen und wirtschaftlichen Energieeffizienzpotenzialen und dena-Experten-schätzungen basiert, stellt zusätzliche, wirtschaftlich realisierbare Energieeffizienzpotenziale zusammen und orientiert sich dabei am Szenario „Effizienz ambitioniert“ aus PEHNT et al. (2011).

Für die Abschätzung der zusätzlichen Potenziale werden im Energieeffizienz-Szenario ambitioniertere politische Rahmenbedingungen, eine beschleunigte Umsetzung einzelner Maßnahmen sowie eine beschleunigte Marktdurchdringung der energieeffizientesten Technologien bei gleichbleibenden Annahmen zu den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen angenommen.

Im *BAU-Szenario* wird zwischen den Jahren 2008 bis 2020 von einer moderaten Gesamtenergieeinsparung von 9 % im Bereich Wärme, 3 % im Bereich Strom und 8 % im Bereich Kraftstoffe ausgegangen. Im *Effizienz-Szenario* beträgt die Einsparung gemäß Einschätzung der Experten im Bereich Wärme 16 %, im Bereich Strom 10 % und im Bereich Kraftstoffe 17 %. Innerhalb des Energiesektors ergibt sich für den Zeitraum von 1995 bis 2005 weitestgehend eine Verbrauchsstagnation, sowie ein anschließender Verbrauchsrückgang wegen der Substitution von Strom aus thermischen Kraftwerken zu Strom aus erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung. Dieser Trend setzt sich verlangsamernd fort. Im Bereich des nichtenergetischen Verbrauchs bzw. der stofflichen Nutzung ergab sich zwischen 1995 bis 2015 ein unverändertes Verbrauchsniveau. Ein Verbrauchsrückgang auf Seiten der Industrie in den Jahren 1995 bis 2005 ist hauptsächlich bedingt durch die Abwanderung der Aluminium-Industrie ins Ausland. Seit 2005 existiert hierbei ein nahezu unverändertes Verbrauchsniveau. Einsparungen auf Seiten der Brennstoffe (Wärme) und des Stroms betragen – bis ins Jahr 2020 – unter 12 %. Inwiefern sich ein Mehrverbrauch jedoch durch Wirtschaftswachstum kompensiert, ist offen.

Der Endenergieverbrauch im Sektor Verkehr reduziert sich gemäß DENA 2012 auf etwa 17 %. Zwischen den Jahren 1995 und 2005 ergab sich im Bereich Verkehr eine Verbrauchszunahme, danach ein stagnierender Verbrauch. Gestiegene Motor- und Verkehrsleistungen, im Zeitraum von 2005 bis 2015, wurden durch effizientere und verbrauchsärmere Motoren kompensiert. Die zukünftige Tendenz ist jedoch, unter anderem abhängig von der weiteren Technologieentwicklung wie beispielsweise dem zunehmenden Trend zur Elektromobilität, leicht abnehmend. Bei einer größeren Anzahl von Elektrofahrzeugen ergäbe sich eine Substitution von Kraftstoffen durch Strom, mit dem Folgeeffekt einer Verbrauchsabnahme im Bereich Verkehr.

Im Bereich der Haushalte erscheint gemäß *Effizienz-Szenario* eine Wärmeeinsparung von 19 % sowie eine Stromeinsparung von 7 % bis 2020 im Vergleich zum Jahr 2008 möglich. Seit 1995 ist im Bereich

der Haushalte eine kontinuierliche Verbrauchsabnahme festzustellen. Innerhalb der Verbrauchsanalyse stellen sich jedoch Verbrauchssenkungen auch aufgrund von überdurchschnittlich warmen Heizperioden ein. Der zukünftige Trend zur Wärmeeinsparung von Haushalten ist abhängig von der Sanierungsrate der Gebäude, welche derzeit im Bundesdurchschnitt ein bis eineinhalb Prozent pro Jahr beträgt.

Im Bereich GHD lassen sich wärmeseitige Einsparungen in Höhe von 18 % und zusätzlich Stromeinsparungen in Höhe von circa 11 % bis 2020 generieren. Seit 1995 ergibt sich ein kontinuierlicher Verbrauchsrückgang, auch bedingt durch die Sanierung des alten Gebäudebestandes. Normalerweise würde sich dieser bisherige Trend in gemäßigter Form fortsetzen. Ein Mehrverbrauch durch Wirtschaftswachstum kann allerdings, wie bei der Industrie, weitere Energieeffizienzmaßnahmen kompensieren.

3.4 Annahmen der Energieeinsparungen gemäß Klimaschutzkonzepte der Region

Gemäß des Klimaschutzkonzeptes des Landkreises Bad Tölz-Wolfratshausen reduziert sich der Stromverbrauch des Landkreises zwischen 2011 und 2035 insgesamt um 20 % und der Wärmeverbrauch um 25 % (B.A.U.M CONSULT GMBH 2013).

Im Klimaschutzkonzept für den Landkreis Miesbach wurde die Wärmeeinsparung in Abhängigkeit von der Sanierungsrate bestimmt, welche derzeit bei etwa 1 % pro Jahr liegt. Hierbei wurde von einer Sanierungsrate von 2,5 % pro Jahr, d.h. einer vollständigen Sanierung des gesamten Wohnbestandes in Miesbach nach 40 Jahren, ausgegangen (KLIMAKOM E.G UND GREEN CITY ENERGY AG 2011). Außerdem wird von einer Reduktion des Stromverbrauchs zwischen 2011 bis 2035 von 20 % ausgegangen.

Im Klimaschutzkonzept Weilheim-Schongau wurde zwischen 2007 bis 2035 von einer maximalen Stromeinsparung bis 40 % ausgegangen. Daneben wurde von einer Reduzierung des Endenergiebedarfs pro Haushalt auf ca. 80 kWh_{th}/m²a (inkl. Brauchwarmwasserbereitung) ausgegangen (BLANDOW et al. 2010).

3.5 Angenommene Endenergieeinsparungen bei der Potenzialanalyse

Die angenommenen Endenergieeinsparungen zukünftiger Effizienzsteigerungen im Strom und Wärmebereich orientieren sich weitestgehend an der in Kapitel 3.3 beschriebenen Energieeffizienz-Richtlinie (EU 2012). Die angenommenen Endenergieeinsparungen beziehen sich stets auf den Zeitraum zwischen 2015 und 2035, d.h. einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Der Endenergieverbrauch umfasst keine Eigenstrom- bzw. Eigenwärmeerzeugung und berücksichtigt keine Verluste der Energiebereitstellung. Insgesamt kann innerhalb der INOLA-Region für die Jahre 2015 bis 2035 eine Einsparung an Primärenergie in Höhe von etwa 35 % angenommen werden.

Im Bereich Haushalte erscheint ein durchschnittlicher Heizenergiekennwert von 89 kWh_{th}/m²a, inkl. Warmwasserbereitung in Höhe von etwa 19 kWh_{th}/m²a bis zum Jahr 2035, als ambitioniertes, jedoch

machbares Ziel. Ein Energiekennwert von durchschnittlich $89 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$ über alle Baualtersklassen würde einer Wärmeendenergieeinsparung der Haushalte von insgesamt 44 % bzw. einer Sanierungsrate von 2,18 % p.a. ($\triangleq 3,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$) entsprechen, gemessen am durchschnittlichen deutschen Energieverbrauchskennwert von $160 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ (WALBERG 2012). Die angenommene Wärmeendenergieeinsparung der Haushalte innerhalb der INOLA-Region wäre damit etwas ambitionierter als im *Effizienz*-Szenario der DENA (2012), mit vergleichsweise 1,6 % p.a., und etwas weniger ambitioniert als innerhalb der Klimaschutzkonzepte mit 2,5 % p.a. Einsparung (KLIMAKOM E.G UND GREEN CITY ENERGY AG 2011). Stromseitig wird im Bereich Haushalte von einer Endenergieeinsparung von etwa 15 %, d.h. 0,75 % p.a. ausgegangen. Das entspricht in etwa einem Mittelwert aus den Klimakonzepten der Region und der DENA-Studie (DENA 2012, B.A.U.M CONSULT GMBH 2013). Im GHD-Sektor wird eine Wärmeeinsparung von 30 % (1,5 % p.a.) im Bereich Wärme und 10 % (0,5 % p.a.) im Bereich Strom in Anbetracht eines tendenziell weiterwachsenden Dienstleistungssektors angenommen. Für den Teilsektor Industrie werden im Bereich Strom bis 2035 Einsparpotenziale von 10 % (0,5 % p.a.) und im Bereich Wärme von 20 % (1 % p.a.) angenommen (DENA 2012). Der Teilbereich Kommune wird (zur Vereinfachung) nicht gesondert aufgeschlüsselt, sondern bei der Bilanzierung dem Bereich GHD hinzugerechnet. Für den Bereich der Straßenbeleuchtung wird jedoch gesondert eine Endenergieeinsparung von 25 % berücksichtigt (BLANDOW et al. 2010). Eine aufgeschlüsselte Darstellung einzelner Energieeffizienzpotenziale innerhalb des Bereichs Kommune findet sich im Klimaschutzkonzept Bad Tölz-Wolfratshausen (B.A.U.M CONSULT GMBH 2013).

4 Potenziale beim Stromverbrauch der Landkreise

Abbildung 4-1 gibt das ermittelte Stromeinsparpotenzial der drei Landkreise wider. Dieses wird insgesamt auf ca. 290 GWh_{el}/a bis zum Jahr 2035 eingeschätzt, beinhaltet jedoch keine Eigenstromerzeugung, weshalb es sich um eine reine Betrachtung der elektrischen Endenergie handelt. Dabei können von den Haushalten sowie den Gewerbe- und Industriebetrieben bzw. öffentlichen Einrichtungen des Landkreises Weilheim-Schongau Stromeinsparungen in Höhe von ca. 155 GWh_{el}/a (12 % des Verbrauchs von 2014) erzielt werden. Im Landkreis Miesbach wurde eine mögliche Stromeinsparung der Haushalte sowie der Gewerbe- und Industriebetriebe sowie öffentlichen Einrichtungen von 68 GWh_{el}/a (15 % des Verbrauchs von 2014) ermittelt. Im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen kann in Summe eine Stromeinsparung in Höhe von 67 GWh_{el}/a (14 %) erfolgen.

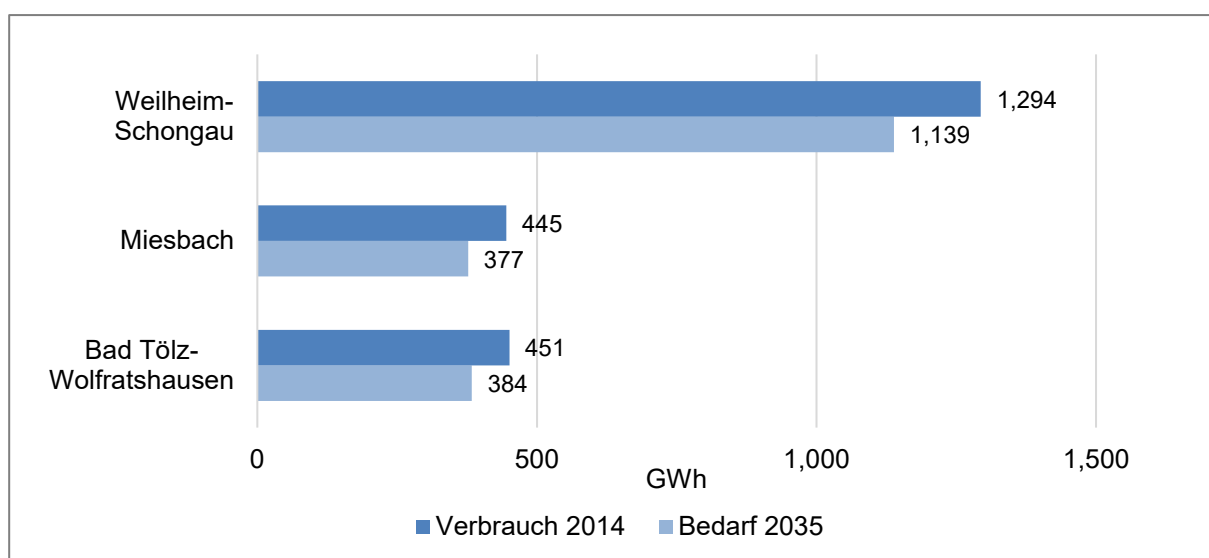


Abbildung 4-1: Stromverbrauch 2014 und möglicher Strombedarf 2035 der drei Landkreise. Angenommene Einsparung innerhalb der privaten Haushalte, des öffentlichen Bereichs (15 %), der Industrie (10 %) und bei der Straßenbeleuchtung (25 %) (ELEKTRIZITÄTSWERKE BÖBING E.G. 2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTSWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).

4.1 Potenziale beim Stromverbrauch der Haushalte

Abbildung 4-2 gibt das ermittelte Stromeinsparpotenzial im Bereich der Privathaushalte wider. Hierbei wurde als Annahme eine Einsparung des aktuellen Stromverbrauchs der Haushalte um 15 % bis ins Jahr 2035 angenommen (vgl. Kapitel 3.5). In Summe beträgt die mögliche Gesamteinsparung an Strom der privaten Haushalte über alle Landkreise 72 GWh_{el}/a. Gemäß Abbildung 4-2 verteilt sich das gesamte

Einsparpotenzial auf die drei Landkreise Weilheim-Schongau mit 25 GWh_{el}/a Einsparpotenzial, Miesbach mit 23 GWh_{el}/a Einsparpotenzial und Bad Tölz-Wolfratshausen mit 24 GWh_{el}/a Einsparpotenzial.

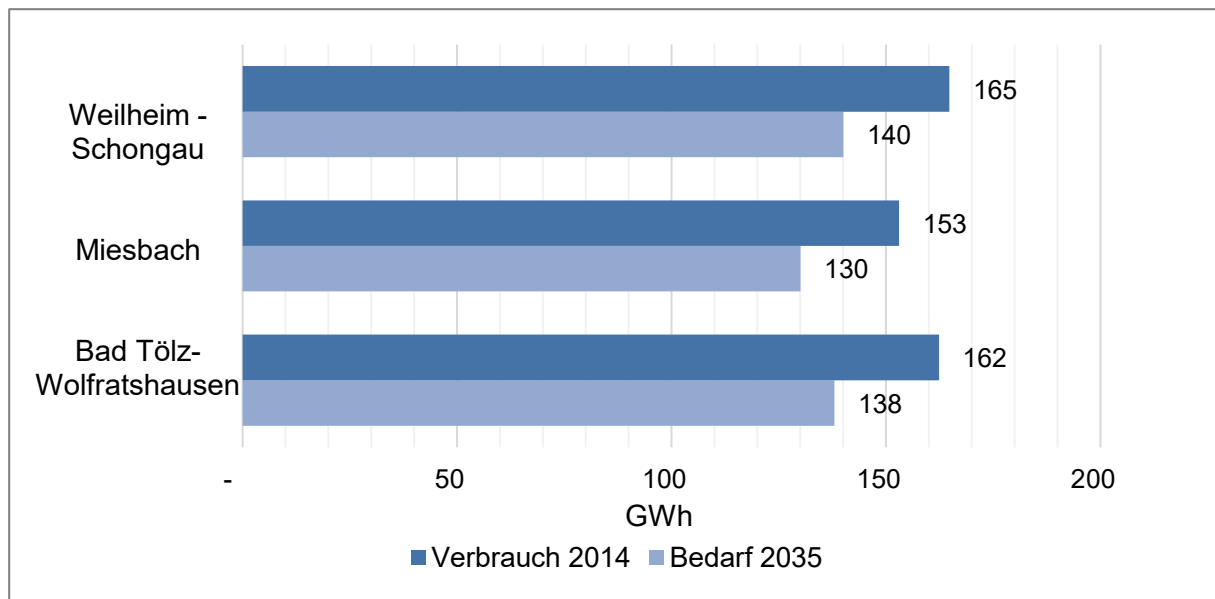


Abbildung 4-2: Stromverbrauch 2014 und ermittelter Strombedarf der Haushalte bis 2035 (ELEKTRIZITÄTSWERKE BÖBING E.G. 2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTSWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).

Künftige Stromeinsparungen im Bereich der Privathaushalte ergeben sich hauptsächlich durch die Steigerung der Energieeffizienz innerhalb der Weißen Ware, d.h. insbesondere bei Anwendungen zum Kühlen und Gefrieren, Waschen und Trocknen sowie Spülen (DENA 2012). Diese Einsparungen sind insbesondere auf die europäischen Vorgaben wie die Öko-Design-Vorgaben zurückzuführen. Ein großes spezifisches Stromsparerpotenzial liegt bei den Haushalten außerdem im Bereich der Beleuchtung. So steigt der Anteil von deutlich sparsameren Produkten, wie z.B. LED zukünftig stark an, da es ein faktisches Verkaufsverbot herkömmlicher Glühlampen gibt. Es wird angenommen, dass der Bestand an Glühlampen bei den privaten Haushalten im Jahr 2020 aufgebraucht ist und dieser Lampentyp vollständig abgelöst ist. Weitere Einsparungen werden durch eine Verschärfung der Anforderungen an Energiesparlampen erwartet (DENA 2012). Abbildung 4-3 stellt das Stromeinsparpotenzial der Haushalte nach Gemeinden des Landkreises Weilheim-Schongau dar. Die Stromeinsparpotenziale sind prozentual berechnet und ergeben sich aufgrund des erfassten Stromverbrauchs der einzelnen Gemeinden. Mit größerem Stromverbrauch ergibt sich dadurch auch ein höheres Stromeinsparpotenzial. Dieses berechnet sich innerhalb des Landkreises Weilheim-Schongau in Summe zu ca. 25 GWh_{el}/a bis ins Jahr 2035. Die größten Stromeinsparpotenziale bestehen mit 4,2 GWh_{el}/a in der Gemeinde Weilheim, danach folgen die Gemeinden Penzberg mit 3,1 GWh_{el}/a, und Peißenberg mit 2,4 GWh_{el}/a. Der gesamte Stromverbrauch der Haushalte beträgt im Landkreis Weilheim Schongau ca. 165 GWh_{el}/a.

Das gesamte Stromeinsparpotenzial der Haushalte des Landkreises Miesbach liegt bei etwa 23 GWh_{el}/a, bei einem gesamten Stromverbrauch der Haushalte von 153 GWh_{el}/a. Abbildung 4-4 zeigt, dass die Gemeinde Holzkirchen mit etwa 3,3 GWh_{el}/a hierbei das größte Einsparpotenzial aufweist.

Holzkirchen ist mit 15.600 Einwohnern (Stand 31.12.2012) auch die Gemeinde mit den meisten Einwohnern innerhalb des Landkreises. Dementsprechend ist der Stromverbrauch hier am höchsten und es kann gleichzeitig am meisten Strom eingespart werden.

Das gesamte Stromeinsparpotenzial der Haushalte des Landkreises Miesbach liegt bei etwa 23 GWh_{el}/a, bei einem gesamten Stromverbrauch der Haushalte von 153 GWh_{el}/a. Abbildung 4-4 zeigt, dass die Gemeinde Holzkirchen mit etwa 3,3 GWh_{el}/a hierbei das größte Einsparpotenzial aufweist. Holzkirchen ist mit 15.600 Einwohnern (Stand 31.12.2012) auch die Gemeinde mit den meisten Einwohnern innerhalb des Landkreises. Dementsprechend ist der Stromverbrauch hier am höchsten und es kann gleichzeitig am meisten Strom eingespart werden.

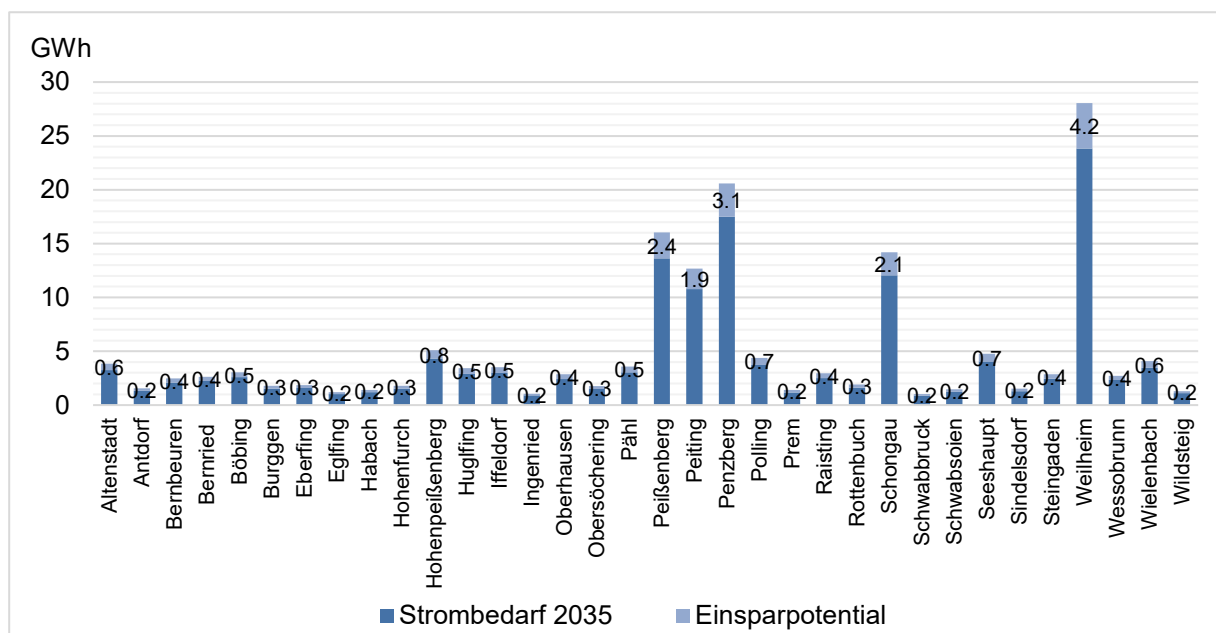


Abbildung 4-3 Potenzial der Stromeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Weilheim-Schongau gegenüber dem Jahr 2014

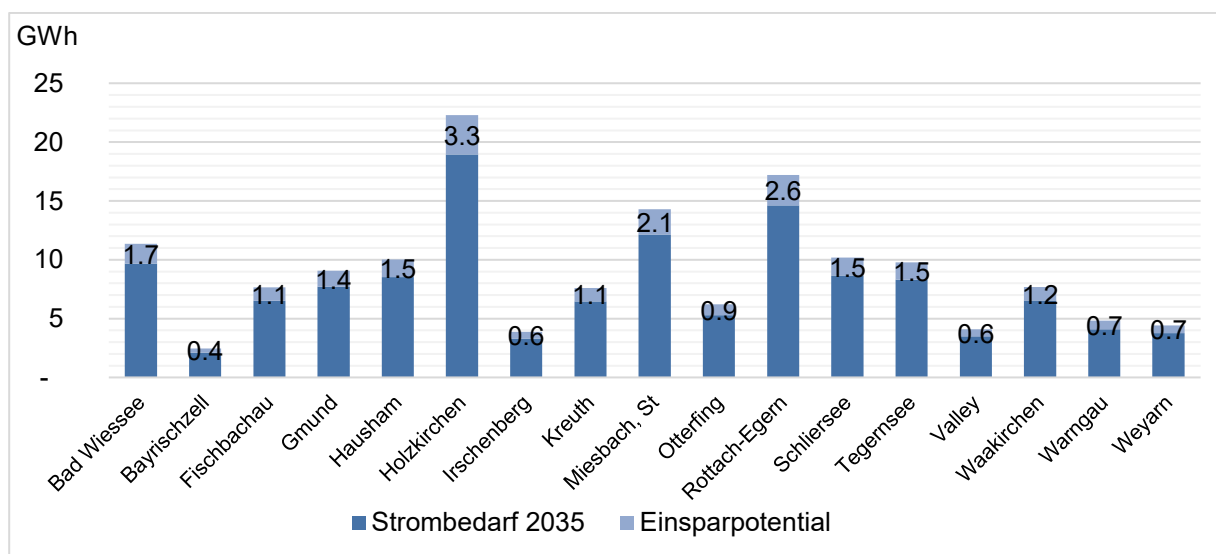


Abbildung 4-4 Potenzial der Stromeinsparung bis 2035 der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Miesbach gegenüber dem Jahr 2014

Darauf folgen die Gemeinde Rottach-Egern mit einem Strom-Einsparpotenzial von 2,6 GWh_{el}/a und die Stadt Miesbach mit einem Strom-Einsparpotenzial von 2,1 GWh_{el}/a. Überraschend ist der verhältnismäßig hohe Stromverbrauch der privaten Haushalte der Gemeinde Rottach-Egern, gemessen an den Einwohnern. Rottach-Egern hat einen sehr hohen Pro-Kopf-Verbrauch von 3.098 kWh/a, verglichen mit der Stadt Miesbach mit lediglich 1.633 kWh/a. Abbildung 4-5 stellt das Stromeinsparpotenzial nach Gemeinden des Landkreises Bad Tölz-Wolfratshausen dar. Insgesamt ergibt sich im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen ein Stromeinsparpotenzial von etwa 24 GWh_{el}/a. Der gesamte Stromverbrauch der Haushalte beträgt im Landkreis Bad Tölz ca. 162 GWh_{el}/a. Das größte Stromeinsparpotenzial innerhalb der privaten Haushalte beträgt in Geretsried 4,5 GWh_{el}/a. Geretsried ist die einwohnerstärkste Gemeinde, mit etwa 23.219 Einwohnern. Nachfolgend besteht hohes Stromeinsparpotenzial in Bad Tölz mit 3,9 GWh_{el}/a sowie in Wolfratshausen mit 3,4 GWh_{el}/a.

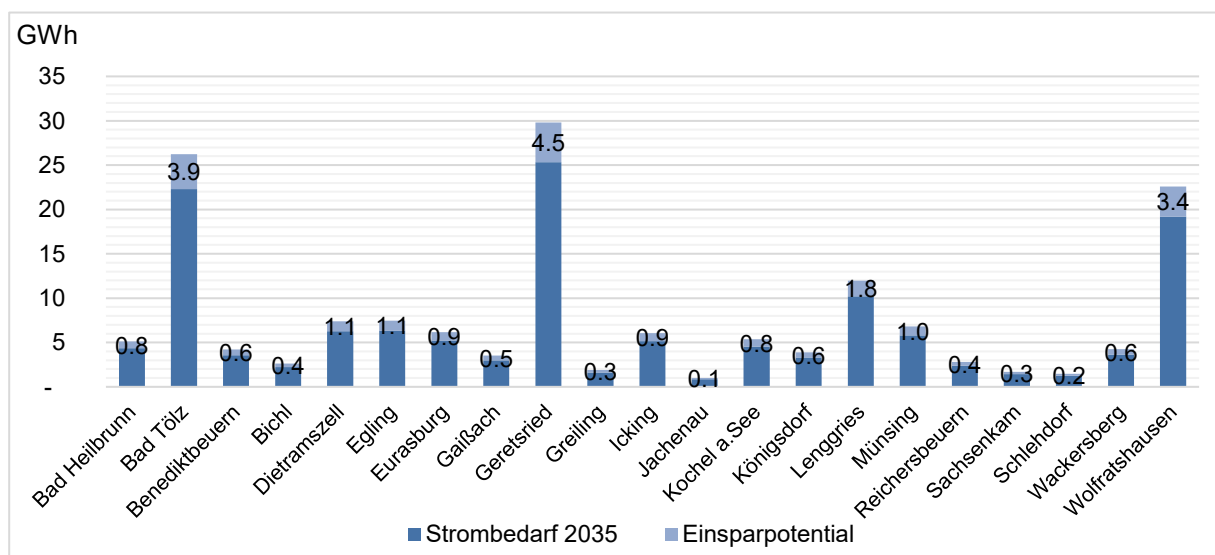


Abbildung 4-5 Potenzial der Stromeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Bad Tölz-Wolfratshausen gegenüber dem Jahr 2014

4.2 Potenziale beim Stromverbrauch der GHD und Industrie

Abbildung 4-6 beschreibt das eingeschätzte Stromeinsparpotenzial im Bereich der GHD für die einzelnen Landkreise. Dieses beläuft sich in Summe auf 163 GWh_{el}/a. Der größte Stromverbrauch für GHD ergibt sich mit 1.090 GWh_{el}/a im Landkreis Weilheim-Schongau und damit auch das größte Stromeinsparpotenzial in Höhe von 110 GWh_{el}/a bis ins Jahr 2035. Im GHD-Sektor wurde eine Stromeinsparung von 10 % (0,5 % p.a.) gemäß DENA (2012) angenommen. In Schongau lässt sich der hohe Verbrauch auf mehrere energieintensive Unternehmen zurückführen. In Miesbach beläuft sich das ermittelte

Stromeinsparpotenzial für den Bereich GHD auf etwa 27 GWh_{el}/a, im Landkreis Bad Tölz auf ca. 26 GWh_{el}/a.

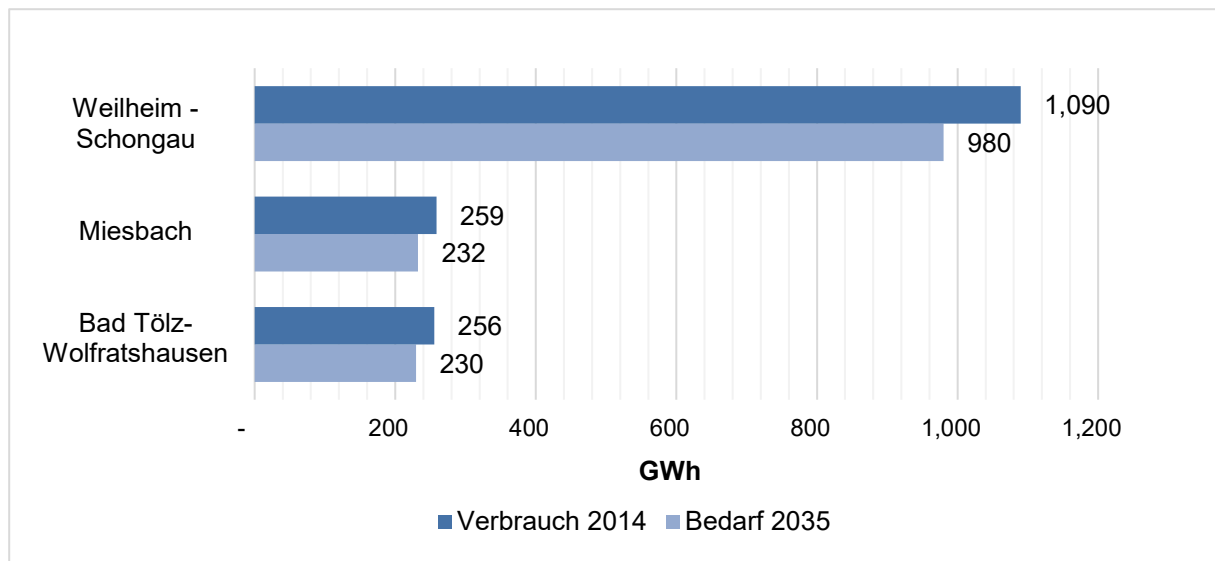


Abbildung 4-6: Stromverbrauch 2014 und ermittelter Strombedarf des GHD-Sektors bis 2035. Annahme: 10 % Stromeinsparung bei GHD, Industrie und Kommunen bis 2035 sowie im Mittel 25 %-ige Stromeinsparung im Bereich der Straßenbeleuchtung (ELEKTRIZITÄTWERKE BÖBING E.G. 2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).

Gemäß Einschätzung der DENA (2012) nimmt der Stromverbrauch, wie im Sektor private Haushalte, auch im Sektor GHD bis zum Jahr 2020 nur moderat ab. Grund hierfür ist ein gegenläufiger Trend, welcher eine Zunahme des Stromverbrauchs bei den Anwendungen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und Raumluftechnische Systeme (RLT) neben einer Reduktion des Stromverbrauchs bei den restlichen Anwendungen beschreibt. Im Bereich der IKT wird davon ausgegangen, dass die Zunahme von effizienten Neugeräten die Abnahme der Altgeräte kompensiert. Innerhalb der Raumluftechnik wird geschätzt, dass aufgrund eines zunehmenden Komfortbedarfs und aufgrund steigender sommerlicher Außentemperaturen mehr raumluftechnische Anlagen als bisher zum Einsatz kommen, es hier also zu einem Mehrverbrauch an Strom kommt. Das größte Energieeinsparpotenzial wird im Sektor GHD dem Bereich der Beleuchtung zugeschrieben. Aufgrund des hohen technologischen Fortschritts der letzten Jahre und des verstärkten Einsatzes sowohl von energieeffizienten Leuchtmitteln, als auch von einer besseren Tageslichtnutzung innerhalb der Gebäude, werden hier größere Stromeinsparungen erzielt. Insgesamt werden Stromeinsparungen im Sektor GHD in Höhe von circa 10 % bis 2020 für möglich gehalten (DENA 2012).

In den vergangenen Jahren reduzierte sich der Stromverbrauch in der Industrie um rund 5 %. Dies lässt sich gemäß DENA (2012) durch den Strukturwandel und den technologischen Energieeffizienzfortschritt begründen. Dieser wird insbesondere deshalb forciert, da der Anteil der Stromkosten an den gesamten Energiekosten aufgrund steigender Energiepreise zunimmt. In der Industrie ergeben sich, ähnlich wie im Sektor Gewerbe, insbesondere im Bereich der Beleuchtungstechnik zukünftig weitere

Einsparpotenziale. Daneben besteht weiteres Energie-Einsparpotenzial durch den Einsatz energieeffizienter Elektromotoren und Pumpen sowie durch eine bedarfsgerechte Steuerung und Regelung.

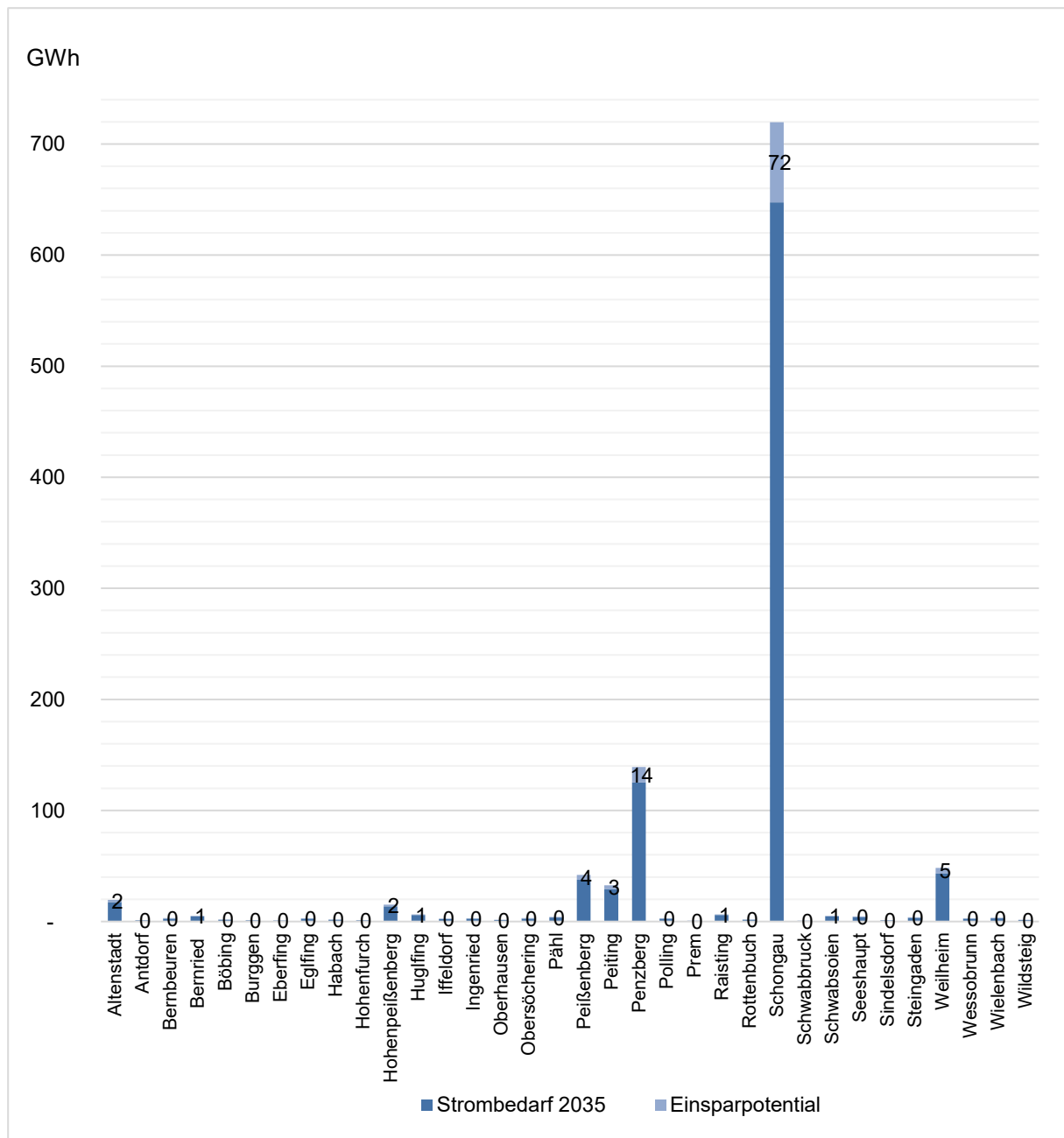


Abbildung 4-7 Potenzial der Stromeinsparung der GHD, Kommunen und Industrie innerhalb der einzelnen Gemeinden des LK Weilheim-Schongau gegenüber dem Jahr 2014

Abbildung 4-7 stellt das Stromeinsparpotenzial nach Gemeinden des Landkreises Weilheim-Schongau für den Bereich GHD und Industrie dar. Dieses berechnet sich in Summe auf ca. 109 GWh_{el}/a. Das größte Stromeinsparpotenzial ergibt sich rechnerisch mit Abstand innerhalb der Gemeinde Schongau (aufgrund der dort ansässigen Papierfabrik) mit 72 GWh_{el}/a, gefolgt von der Gemeinde Penzberg, mit 14 GWh_{el}/a, sowie Weilheim und Peißenberg, mit jeweils etwa 5 GWh_{el}/a. In Abbildung 4-8 ist für den Landkreis Miesbach das Stromeinsparpotenzial bis ins Jahr 2035 in Höhe von 28 GWh_{el}/a nach Gemeinden und den Bereichen GHD und Industrie abgebildet. Das größte Einsparpotenzial, zwischen 4 und

5 GWh_{el}/a, ergibt sich in den Gemeinden Holzkirchen, Gmund a. Tegernsee und Miesbach. Dies sind die drei Gemeinden, in denen der Stromverbrauch der GHD auch am höchsten ist.

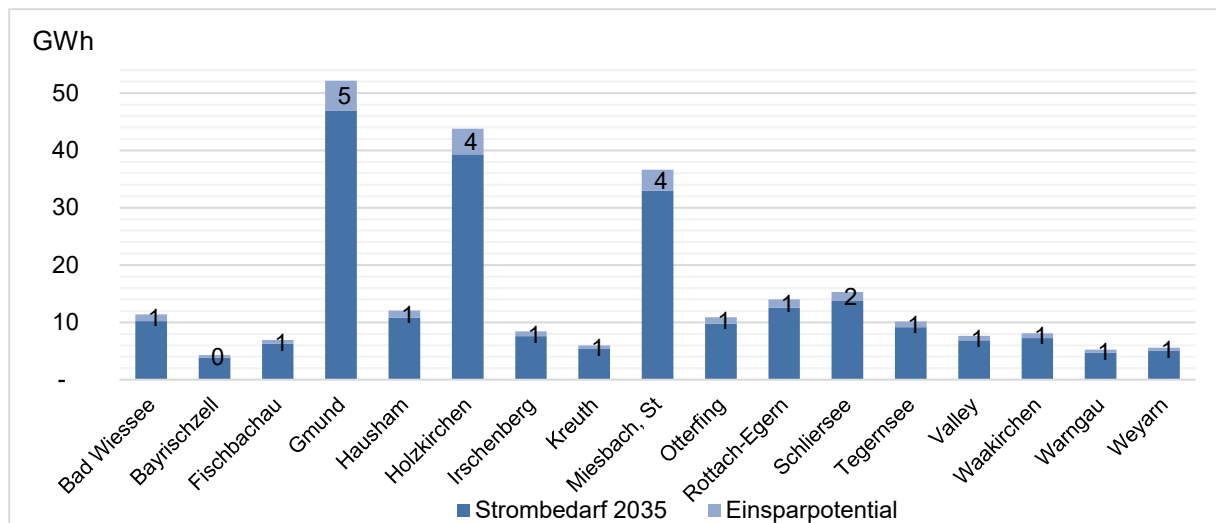


Abbildung 4-8 Potenzial der Stromeinsparung bis 2035 der der GHD, Kommunen und Industrie innerhalb des Lk Miesbach gegenüber dem Jahr 2014

Abbildung 4-9 zeigt das Stromeinsparpotenzial nach Gemeinden des Landkreises Bad Tölz-Wolfratshausen. In Summe ergibt sich hierbei ein Stromeinsparpotenzial von etwa 26 GWh_{el}/a. Die größten Stromeinsparpotenziale fallen auch hier mit den Gemeinden zusammen, in denen sich große bzw. energieintensive Unternehmen befinden. Geretsried weist im GHD-Sektor das größte Stromeinsparpotenzial von 7 GWh_{el}/a auf. Danach folgen die Gemeinden Wolfratshausen mit 5 GWh_{el}/a und Bad Tölz mit 4 GWh_{el}/a.

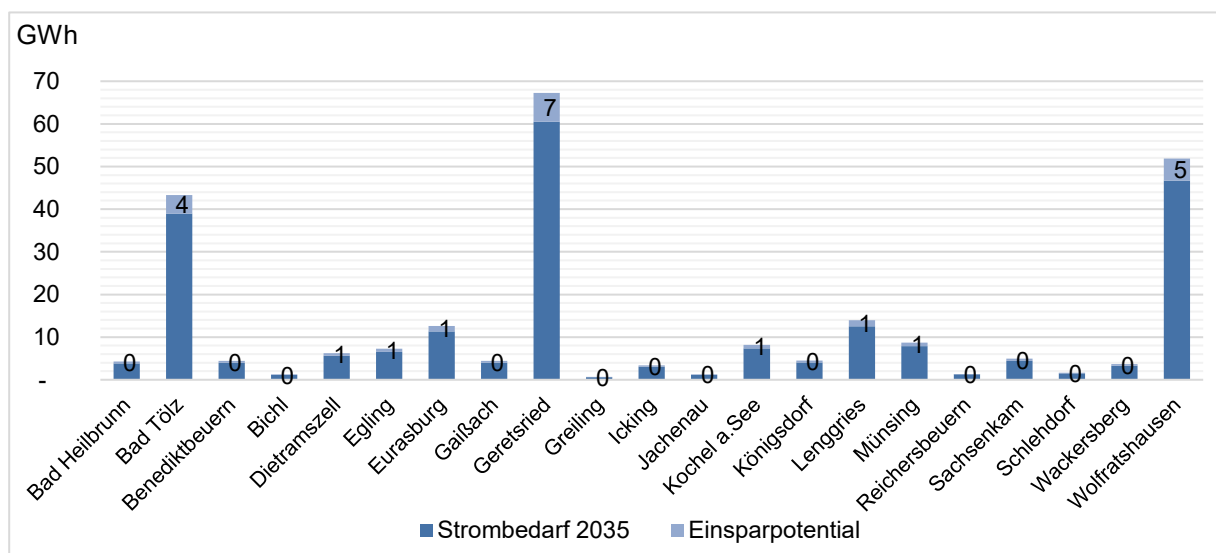


Abbildung 4-9 Potenzial der Stromeinsparung der einzelnen der GHD, Kommunen und Industrie innerhalb des LK Bad Tölz-Wolfratshausen gegenüber dem Jahr 2014

4.3 Potenziale beim Teilsektor Straßenbeleuchtung

Der Teilbereich der Straßenbeleuchtung wurde separat untersucht. Gemäß Abbildung 4-10 ergeben sich hierbei für die einzelnen Landkreise Stromeinsparpotenziale von insgesamt 2,6 GWh_{el}/a bis ins Jahr 2035. Beim Teilsektor Straßenbeleuchtung können bis ins Jahr 2035 durch eine Umstellung der Leuchtmittel im Landkreis Weilheim-Schongau etwa 1,1 GWh_{el}/a, im Landkreis Miesbach etwa 0,9 GWh_{el}/a und im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen etwa 0,6 GWh_{el}/a an Strom eingespart werden. Dabei wurde eine Endenergieeinsparung von 25 % berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.5).

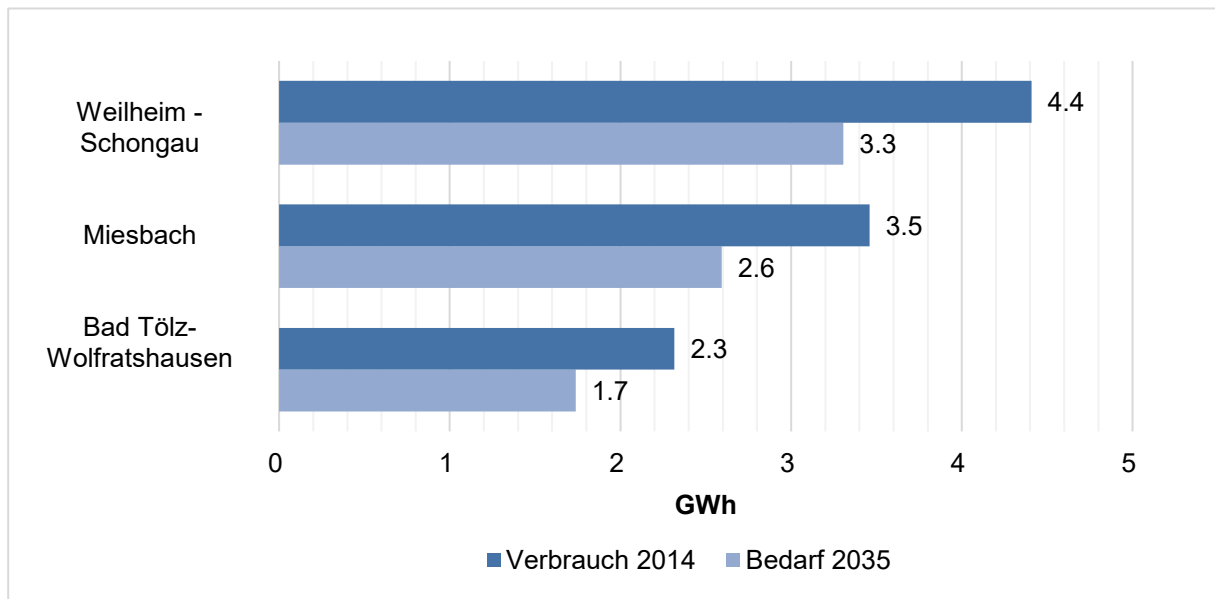


Abbildung 4-10: Stromeinsparpotenzial bei Straßenbeleuchtung durch Umstellung auf neue Leuchtmittel bis 2035, ausgehend vom heutigen Verbrauch der Straßenbeleuchtung der einzelnen Landkreise. Annahme: Im Mittel 25 % Einsparung (ELEKTRIZITÄTSWERKE BÖBING E.G. 2013/2014, BAYERNWERK 2014, ELEKTRIZITÄTSWERKE TEGERNSEE 2014, GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014, GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014, LECHWERKE 2014, STW TÖLZ 2014).

5 Einsparpotenziale beim Wärmebedarf der Landkreise

Abbildung 5-1 beschreibt das anhand Kapitel 3.5 ermittelte Einsparpotenzial im Bereich Wärme bis 2035 für die drei Bereiche private Haushalte, GHD, Industrie und Kommune. Es wird davon ausgegangen, dass der Aufwand an thermischer Wärmeenergie (innerhalb der drei Landkreise und der kommenden zwanzig Jahre) in etwa um ein Drittel reduziert werden kann. Der gesamte Endenergieverbrauch an thermischer Energie der Gemeinde Weilheim-Schongau wurde zu 2,4 TWh_{th}/a bestimmt. Bei einer Einsparung von etwa 30 % an Heizwärme können im Landkreis Weilheim-Schongau im Jahr 2035 bis zu 750 GWh_{th}/a durch Effizienz- und Sanierungsmaßnahmen eingespart werden. Innerhalb des Landkreises Miesbach liegt der Gesamtwärmeverbrauch heute in etwa bei 1,9 TWh_{th}/a. Mögliche Einsparungen an Heizwärme ermitteln sich hierbei in Summe zu etwa 583 GWh_{th}/a. Im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen wurde der Heizenergiebedarf für das Jahr 2015 auf ca. 1,3 TWh_{th}/a ermittelt. Eine mögliche Wärmeendenergieeinsparung berechnet sich in Bad Tölz zu etwa 485 GWh_{th}/a. Insgesamt liegt das Einsparpotenzial, für die drei Landkreise, bei ca. 1,8 TWh_{th} /a.

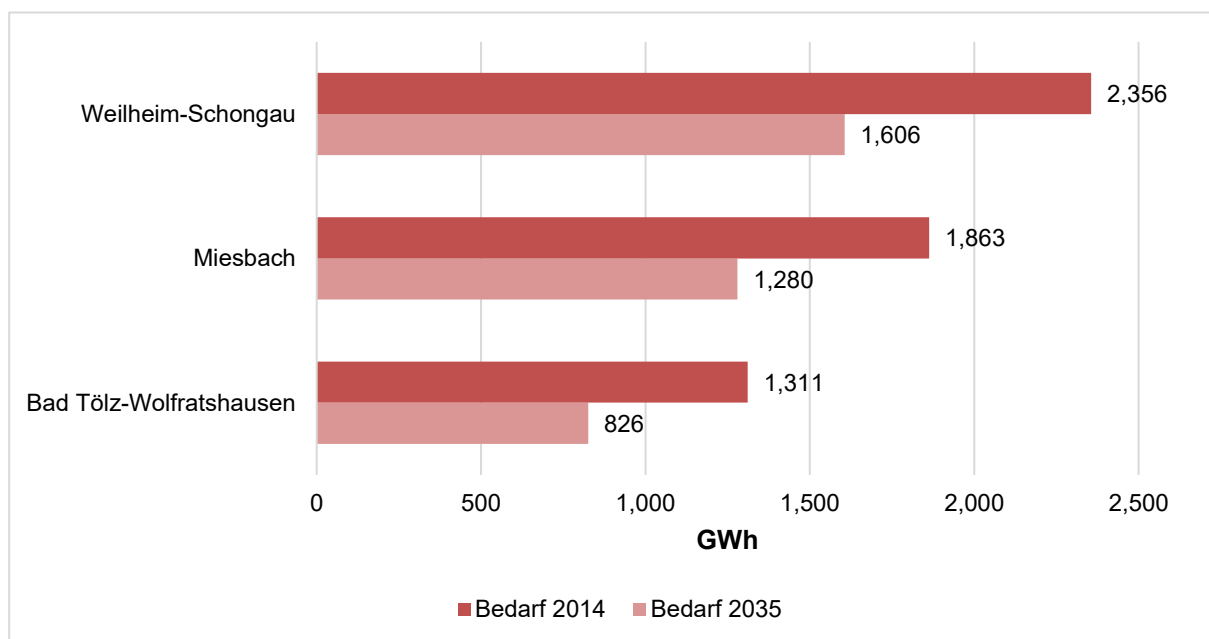


Abbildung 5-1: Wärmebedarf 2014 und ermittelter Wärmebedarf der Landkreise bis 2035 (Endenergie). Betrachtung der Bereiche private Haushalte, GHD, Industrie und Kommunen (Straßenbeleuchtung). Hierbei wurde eine Sanierungsrate von 20 % bis zum Jahr 2015 über alle Baualtersklassen berücksichtigt (BAYStMUV et al. 2011, DESTATIS 2011, BAYLfSTAD 2015e, d).

Der Berechnung wurde im Jahr 2035 bei den Haushalten ein durchschnittlicher Heizenergiekennwert von 89 kWh_{th}/m²a inkl. Warmwasserbereitung in Höhe von etwa 19 kWh_{th}/m²a zugrunde gelegt. Dies entspricht einer Sanierungsrate von 2,18 % p.a (vgl. Kapitel 3.5). Im GHD-Sektor wurde eine Wärme-einsparung von 30 % (1,5 % p. a.) angenommen. Für den Teilsektor Industrie wurden bis 2035 im Bereich Wärme Einsparpotenziale von 20 % (1 % p.a.) angenommen (DENA 2012) . Der Teilbereich der

Kommunen wurde (zur Vereinfachung) nicht gesondert aufgeschlüsselt, sondern bei der Bilanzierung dem Bereich GHD hinzugerechnet.

5.1 Potenziale beim Wärmebedarf der Haushalte

Gemäß Abbildung 5-2 beträgt das gesamte Wärmeeinsparpotenzial der Haushalte aller drei Landkreise innerhalb der kommenden 20 Jahre etwa 1,1 TWh_{th}/a. Die größte Einsparung an Wärmeenergie - über 40 % - kann mit 419 GWh_{th}/a innerhalb der Haushalte des Landkreises Weilheim-Schongau realisiert werden. Dieser Wert ist bei einer wie in Kapitel 3.5 beschriebenen Sanierungsrate von 2,18 % pro Jahr erreichbar. Ist die Sanierungsrate geringer, beispielsweise bei etwa 1 % wie in den vergangenen Jahren auf Bundesebene, fällt die Wärmeenergieeinsparung entsprechend geringer aus. Des Weiteren bieten die Landkreise Miesbach mit 324 GWh_{th}/a und Bad Tölz-Wolfratshausen mit 351 GWh_{th}/a hohe Potenziale im Bereich der Wärmeeinsparung der Haushalte.

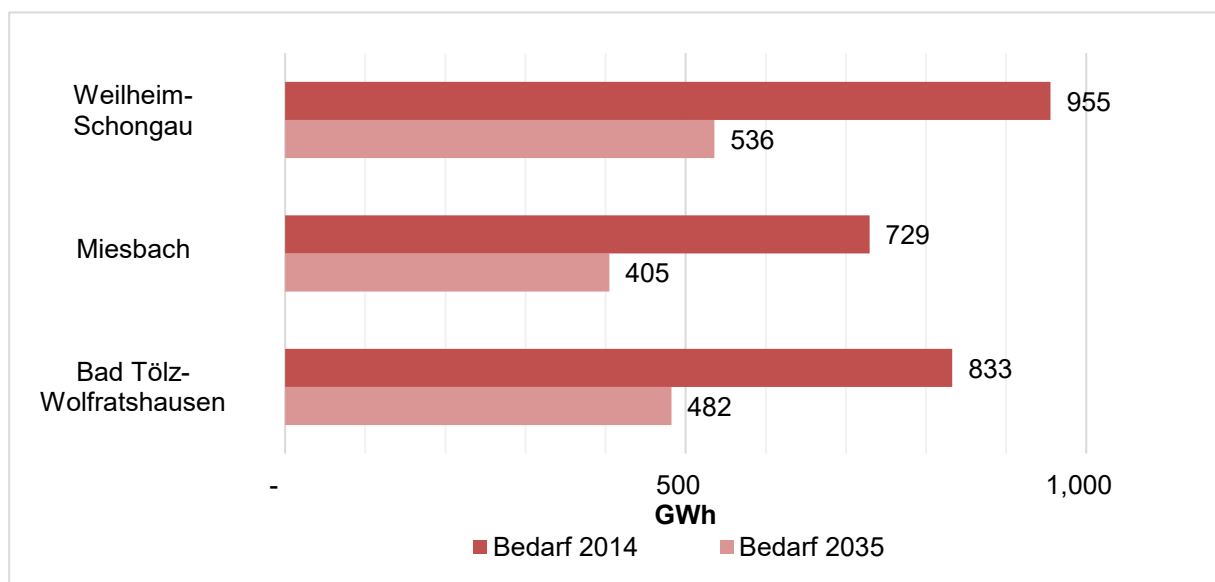


Abbildung 5-2: Wärmebedarf 2014 und ermittelter Wärmebedarf der Haushalte der Landkreise bis 2035 (Endenergie). Ausgehend von einem mittleren Energiebedarf von ca. 90 kWh/m²a im Jahr 2035 und einer Sanierungsrate von 20 % über alle Baualtersklassen bis zum Jahr 2014 (BAYSTMUV et al. 2011, DESTATIS 2011, BAYLFSTAD 2015e, d).

Eine Reduktion des Verbrauchs an Raumwärme wird in erster Linie durch die energetische Sanierung im Gebäudebestand und die daraus resultierende Verringerung des spezifischen Heizenergiekennwertes bewirkt. Weitere Wärmeenergieeinsparungen ergeben sich durch die Modernisierung von Heizungsanlagen sowie durch Effizienzsteigerungen bei der Regelung. Den Einsparungen entgegen wirkt die durch den Neubau bedingte Zunahme der gesamten Wohnfläche. Diese lässt sich, trotz nur moderat zunehmender bis stagnierender Bevölkerung, durch eine steigende Anzahl an Ein-Personen-Haushalten und erhöhte Komfortorientierung begründen. Einsparungen bei der Warmwasserbereitstellung sind maßgeblich abhängig von der Bevölkerungsentwicklung und dem Einsatz energieeffizienter Technologien zur Warmwasserbereitung (DENA 2012).

Nachfolgend wurde das Potenzial für die Endenergieeinsparung von Heizwärme auf die Haushalte der einzelnen Gemeinden übertragen. Abbildung 5-3 stellt das Wärmeeinsparpotenzial der Haushalte nach Gemeinden des Landkreises Weilheim-Schongau dar. In Summe wird dieses mit 419 GWh_{th}/a bis ins Jahr 2035 beziffert. Große Potenziale - zwischen 30 und 50 GWh_{th}/a - ergeben sich für die Gemeinden Weilheim, Peißenberg, Peiting, Penzberg und Schongau. Für die übrigen Gemeinden des Landkreises ergeben sich geringere Potenziale von weniger als 20 GWh_{th}/a. Die Gemeinde Weilheim ist mit 21.308 Einwohnern die größte Gemeinde des Landkreises. Entsprechend existieren hier auch am meisten Haushalte und das Einsparpotenzial ist entsprechend groß.

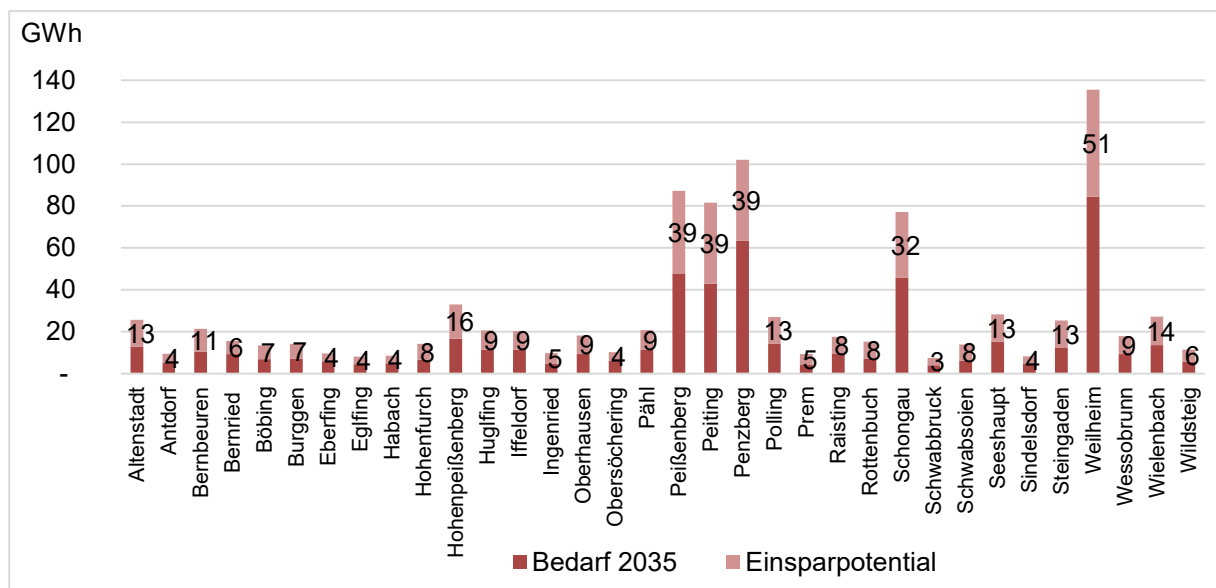


Abbildung 5-3: Potenzial der Wärmeeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Weilheim-Schongau gegenüber dem Jahr 2014

Abbildung 5-4 zeigt das Wärmeeinsparpotenzial nach Gemeinden des Landkreises Miesbach. Hierbei ergeben sich in Summe mögliche Heizenergieeinsparungen von etwa 325 GWh_{th}/a. Das größte Wär-

meeinsparpotenzial ergibt sich mit 33 GWh_{th}/a in der Gemeinde Holzkirchen. Danach folgen, mit Wärmeeinsparpotenzialen zwischen 20 und 30 GWh_{th}/a die Gemeinden Rottach-Egern, Schliersee, Miesbach, Gmund a. Tegernsee, Hausham und Fischbachau.

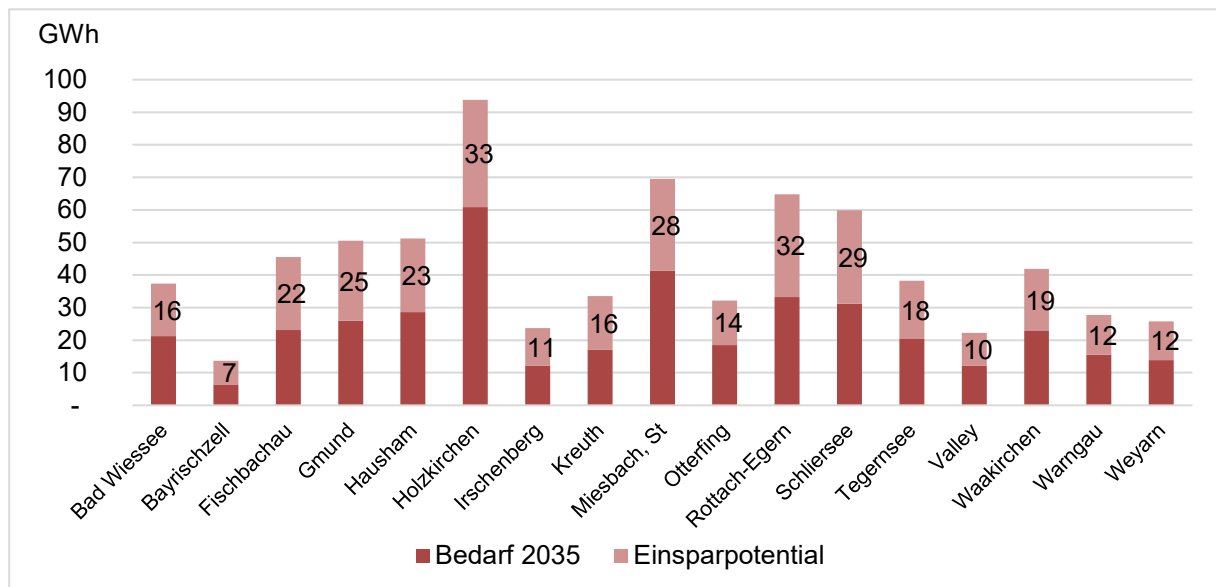


Abbildung 5-4 Potenzial der Wärmeeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Miesbach gegenüber dem Jahr 2014

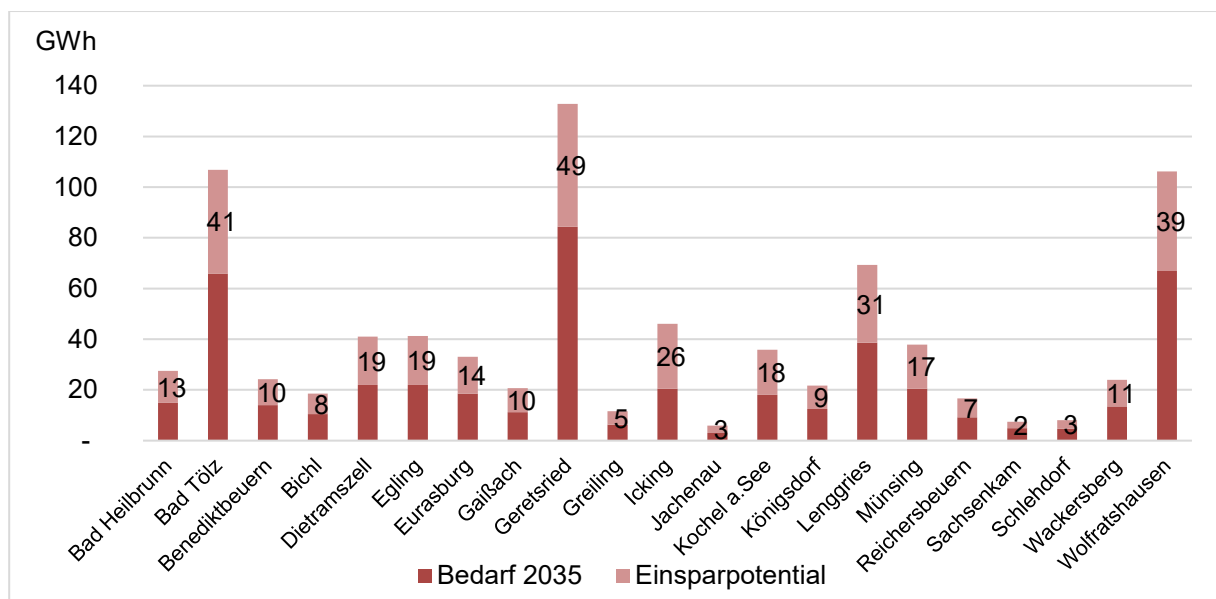


Abbildung 5-5 Potenzial der Wärmeeinsparung der einzelnen Haushalte innerhalb des LK Bad Tölz-Wolfratshausen gegenüber dem Jahr 2014

Abbildung 5-5 stellt das Gesamtwärmeeinsparpotenzial nach Gemeinden des Landkreises Bad Tölz-Wolfratshausen dar. In Summe wurde dieses in Bad Tölz Wolfratshausen zu 351 GWh_{th}/a bis ins Jahr 2035 ermittelt. Die Gemeinden mit dem meisten Wohnraum sind gleichzeitig die Gemeinden einer großen Bevölkerungsanzahl: Geretsried mit 23.219 Einwohnern, Bad Tölz mit 17.946 Einwohnern und Wolfratshausen mit 17.580 Einwohnern. Entsprechend ergeben sich hier die größten Wärmeeinsparpotenziale. In Geretsried beträgt das Wärmeeinsparpotenzial 49 GWh_{th}/a, in Bad Tölz 41 GWh_{th}/a und

in Wolfratshausen 39 GWh_{th}/a. Bei der Angabe des Wärmeeinsparpotenzials wird in allen Gemeinden jeweils eine ähnliche Baualtersklassen-Verteilung der Gebäude angenommen sowie eine ähnliche Sanierungsrate in der Vergangenheit von etwa 20 % (DENA 2012).

5.2 Potenziale beim Wärmebedarf der Wirtschaft

Abbildung 5-6 zeigt das ermittelte Gesamtwärmeeinsparpotenzial für die Bereiche GHD, Industrie und Kommunen der drei Landkreise. Für den Landkreis Weilheim-Schongau ergeben sich, ausgehend von 1.401 GWh_{th} im Jahr 2014, bis 2035 Wärmeeinsparpotenziale in Höhe von ca. 331 GWh_{th}/a (24 %). In den Landkreisen Miesbach und Bad Tölz-Wolfratshausen ergeben sich Einsparpotenziale in Höhe von etwa 258 GWh_{th}/a (24 %), bzw. 135 GWh_{th}/a (27 %). Das gesamte Wärmeeinsparpotenzial im Bereich GHD beträgt 724 GWh_{th}/a.

DENA (2012) geht davon aus, dass die jährliche Sanierungsrate und die Effizienz der energetischen Sanierung im Bereich GHD tatsächlich höher liegen als bei den privaten Haushalten. Neben energetischen Sanierungen werden Effizienzsteigerungen im GHD-Bereich im Gegensatz zu den privaten Haushalten häufiger über den Neubau von energieeffizienten Gebäuden erreicht. Deshalb können sich hier Neubaustandards schneller durchsetzen und es werden hohe Wärmeenergieeinsparungen erzielt. Weitere Wärmeenergieeinsparungen ergeben sich durch höhere interne Lasten als im Bereich der privaten Haushalte. Im GHD- und Industriebereich werden vermehrt elektrische Geräte eingesetzt, die Abwärme produzieren und damit die Gebäudeheizung entlasten oder sogar zusätzlichen Aufwand zur Kühlung erforderlich machen.

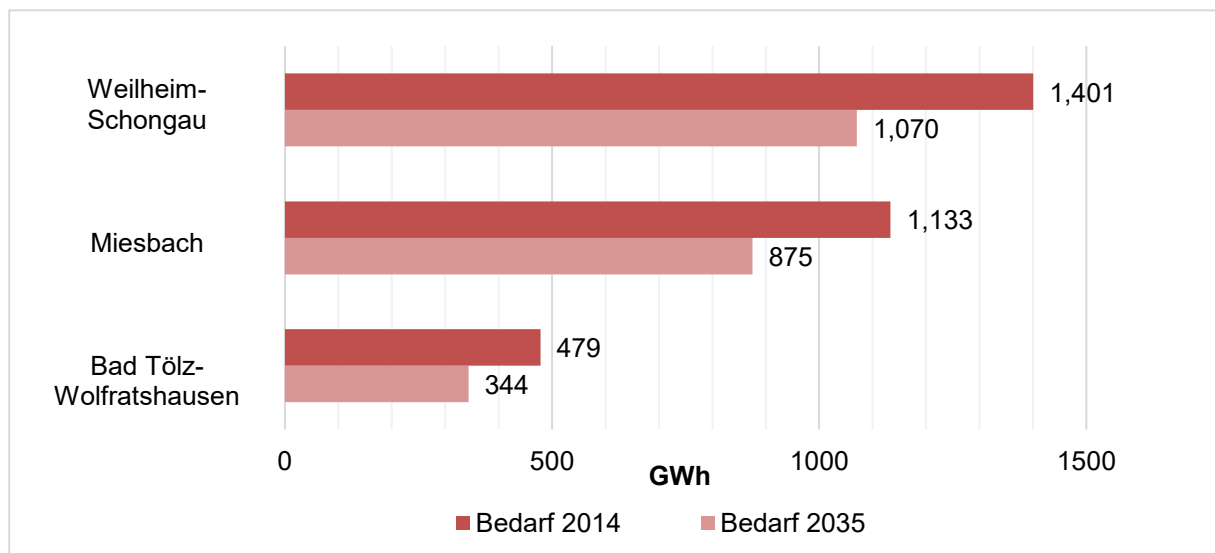


Abbildung 5-6: Wärmebedarf 2014 und ermittelter Bedarf der GHD, Industrie und des öffentlichen Bereichs (Straßenbeleuchtung) bis 2035 für die einzelnen Landkreise. (DESTATIS 2011, BAYLfSTAD 2015e, d, INSTITUT WOHNEN UND UMWELT 2015).

Aufgrund des stetigen Wachstums von Branchen wie Gesundheit und Pflege, Handel und Gastronomie sowie industrienahen Dienstleistungen wird innerhalb dieser Berechnung jedoch davon ausgegangen, dass sich die GHD-Einsparungen im Wärme und Strombereich wiederum relativieren. Im GHD-Sektor

wurde innerhalb dieser Berechnung eine Wärmeeinsparung von 30 % bis 2035 angenommen (1,5 % p. a.). Für den Teilsektor Industrie wurden ferner bis 2035 im Bereich Wärme Einsparpotenziale von 20 % (1 % p.a.) angenommen (vgl. Kapitel 3.5) (DENA 2012).

6 Potenzialanalyse der regenerativen Energieerzeugung

6.1 Allgemeine Anmerkungen zur Ermittlung der Energie-Potenziale

Die Analysen, die nun im Folgenden näher beschrieben werden, sind für jede Energieerzeugungsform isoliert durchgeführt worden. Das bedeutet, dass keine der jeweils anderen Energieerzeugungsarten berücksichtigt wurden. Sämtliche identifizierten Flächen können demnach für mehrere unterschiedliche Erzeugungsarten geeignet sein. Ein Beispiel hierfür ist die Flächenkonkurrenz zwischen gebäudegebundenen Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen, für die jeweils dieselben Voraussetzungen gelten: Dachflächen können jeweils mit einer PV- und/oder einer ST-Anlage bestückt werden.

Es wird daher ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die ermittelten Potenziale nicht aufsummiert werden dürfen. Jede Potenzialangabe geht von einer ausschließlichen Nutzung der Flächen durch die jeweilige Erzeugungsart aus.

6.2 Photovoltaik/Solarthermie

Die Solarenergie bezeichnet die von der Sonne auf die Erde eingestrahlte Energie, die das Mehrtausendfache des weltweiten Energieverbrauchs beträgt (BAYStMWIVT 2010). Das langjährige Mittel der auf einer horizontalen Fläche an der Erdoberfläche eintreffenden Energiemenge beträgt in Deutschland in der Summe etwa 1.055 kWh/m² pro Jahr, was in etwa dem Energiegehalt von 105 l Heizöl bzw. 105 m³ Erdgas entspricht (BAYStMWIVT 2010, DWD 2015). Im Untersuchungsgebiet „Energiewende Oberland“ ist der Wert der sogenannten Globalstrahlung mit 1.167 kWh/m² mittlerer Jahressumme sogar etwas höher als im gesamtdeutschen Mittel und bietet damit gute Voraussetzungen für eine vielfältige Nutzung (DWD 2015).

Die solare Energie kann sowohl in Wärme (über Solaranlagen zur Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung) als auch in Strom (über Photovoltaik-Anlagen) umgewandelt werden. Wie viel der eintreffenden Energie dabei tatsächlich genutzt werden kann, hängt von vielen Faktoren ab, darunter der Anlagenwirkungsgrad, die Flächenneigung und -ausrichtung sowie regional und saisonal unterschiedliche Einfallswinkel der Sonne (BAYStMWIVT 2010, BMWi 2015).

Zwischen den beiden Nutzungsformen – der Wärme- und der Stromgewinnung – besteht teilweise eine Flächenkonkurrenz, insbesondere was gebäudegebundene Anlagen betrifft. Freiflächenanlagen werden in aller Regel ausschließlich zur Stromerzeugung genutzt.

Für die Ermittlung des Potenzials zur Nutzung der Sonnenenergie wird zwischen Photovoltaik-Freiflächenanlagen (zur Stromerzeugung) und gebäudegebundenen Anlagen (zur Strom- und Wärmeerzeugung) unterschieden.

6.2.1 Strahlungspotenzial

Aus meteorologischer Sicht stellt lediglich die Globalstrahlung einen möglicherweise begrenzenden Faktor für eine Nutzung der Sonnenenergie dar. Die Sonnenscheindauer sowie der Bewölkungsgrad fließen in diese Größe bereits mit ein, sodass diese nicht gesondert berücksichtigt werden müssen. Wie in Abschnitt 0 erwähnt beträgt das langjährige Mittel der Globalstrahlung der Jahre 1981 - 2010 in der Region Energiewende Oberland 1.167 kWh/m² und übersteigt damit das deutschlandweite Mittel (DWD 2015).

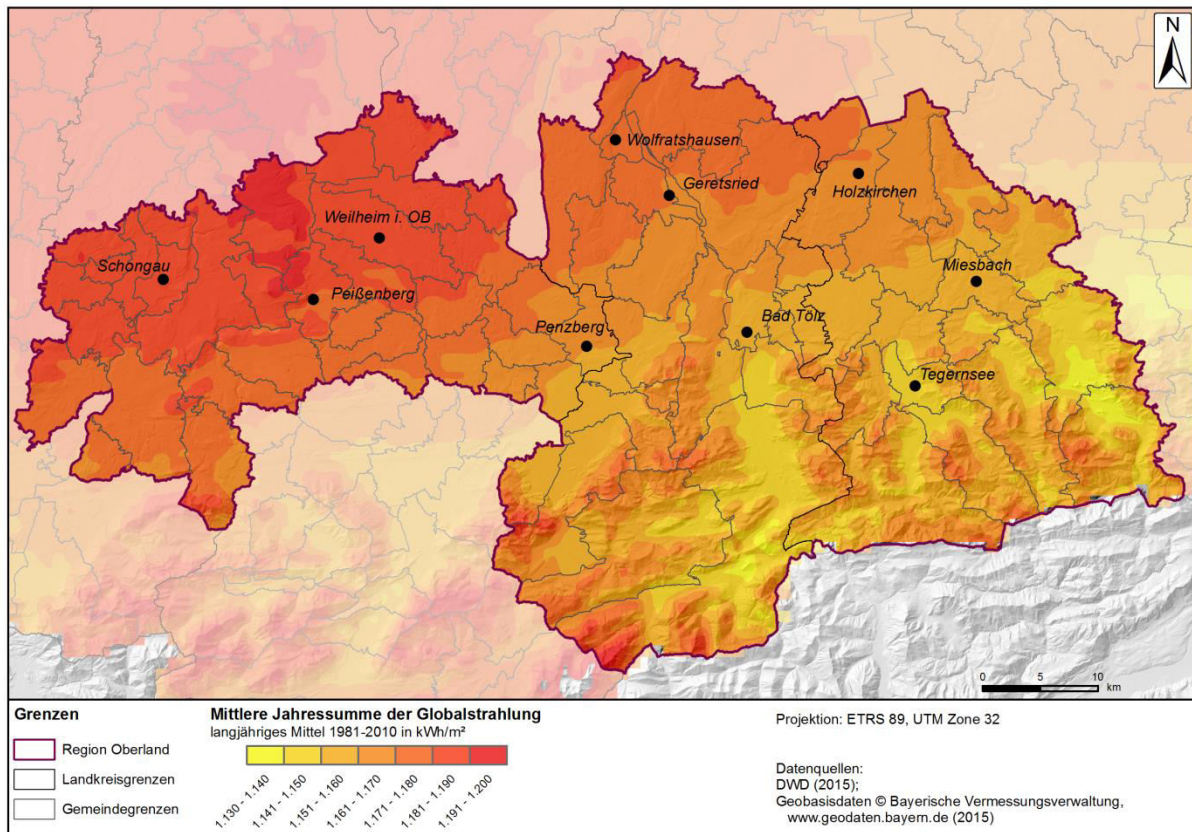


Abbildung 6-1: Langjähriges Mittel der Jahressummen 1981-2010 der Globalstrahlung in der Region „Energiewende Oberland“.

Die räumliche Verteilung ist in Abbildung 6-1 dargestellt. Hier wird sichtbar, dass im Norden der Region generell höhere Jahressummen erreicht werden als im Süden. Insbesondere der Landkreis Weilheim-Schongau ist mit einem mittleren Wert von 1.180 kWh/m² begünstigt gegenüber den Landkreisen Bad Tölz-Wolfratshausen (1.164 kWh/m²) und Miesbach (1.157 kWh/m²). Im Nordwesten des Landkreises Weilheim-Schongau (Gemeinde Wessobrunn) werden mit bis zu 1.200 kWh/m² die höchsten Durchschnittswerte der Region erreicht. Die niedrigsten Werte treten aufgrund der geringeren Sonnenscheindauer und der häufigeren Bewölkung am Gebirgsrand generell in den Tallagen im Süden und Südosten der Region auf. Dennoch übersteigen auch diese Werte mit Minimum 1.130 kWh/m² den bundesweiten Mittelwert von 1.055 kWh/m², weshalb das gesamte Gebiet der Region „Energiewende Oberland“ aufgrund der Globalstrahlung als geeignet für die Nutzung von Solarenergie einzustufen ist.

6.2.2 Neigungs- und Expositions Korrektur

Die vorhandenen Werte der eintreffenden Strahlung in kWh/m² beziehen sich immer auf eine horizontale Ebene. Sie verändern sich jedoch zum Teil erheblich in Abhängigkeit der Neigung und Ausrichtung einer Fläche. Das ist für eine Betrachtung von Dach- und Hangflächen besonders relevant. Außerdem hängt die ankommende Strahlungsmenge vom aktuellen Sonnenstand ab, der insbesondere über die verschiedenen Jahreszeiten starken Veränderungen unterliegt. Je senkrechter die ankommende Strahlung auf der jeweiligen Fläche eintrifft, umso höher ist die nutzbare Energiemenge. Um diese Tatsachen in der Analyse berücksichtigen zu können, werden Korrekturfaktoren herangezogen, die für jede Jahreszeit in Bezug auf Neigung und Ausrichtung einer Fläche die Veränderung der Globalstrahlung angeben (Abbildung 6-2).

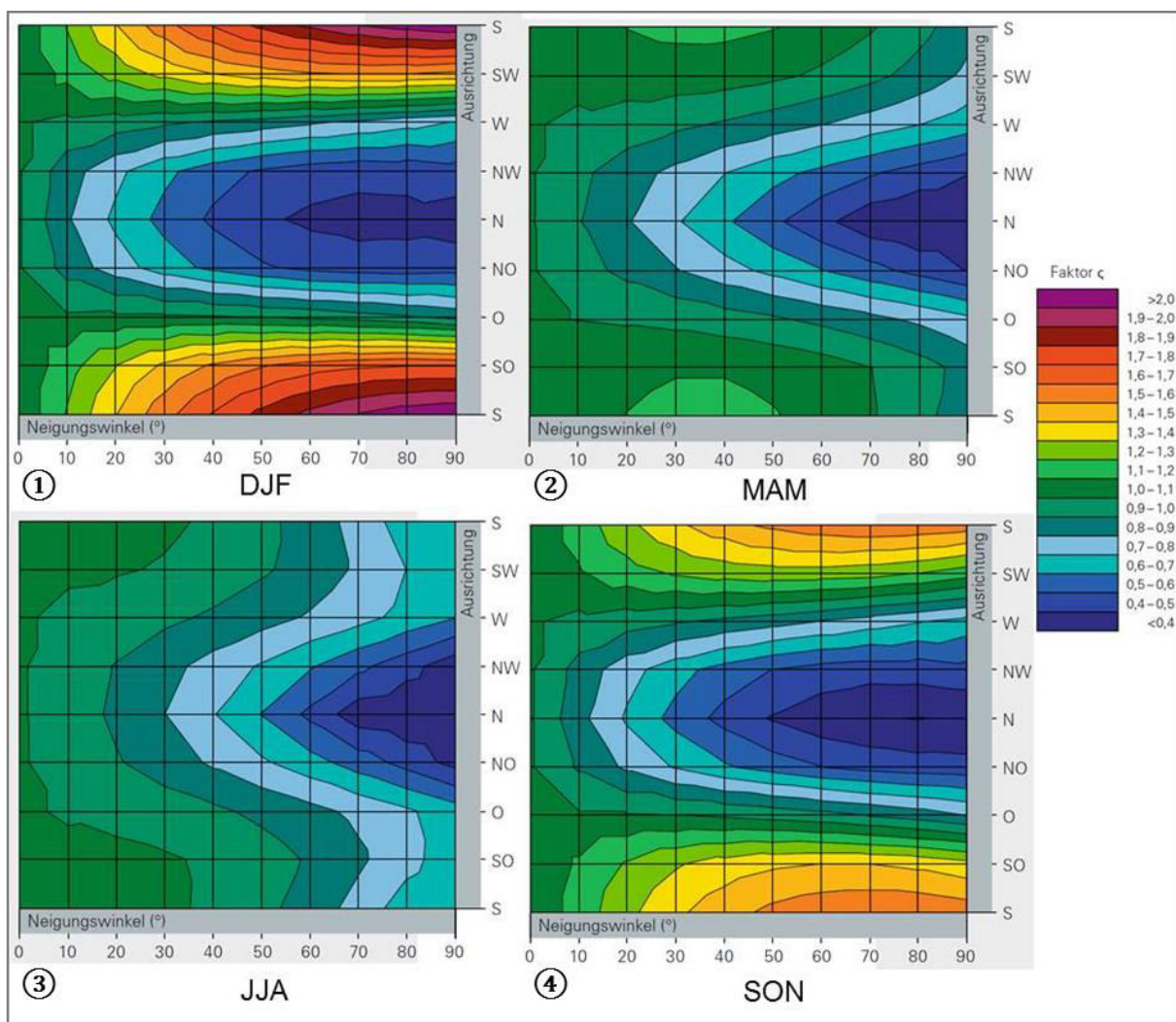


Abbildung 6-2: Faktoren zur Korrektur der ankommenden Strahlungsmenge auf einer geneigten Fläche für die vier Jahreszeiten Winter (①, DJF – Dezember bis Februar), Frühling (②, MAM – März bis Mai), Sommer (③, JJA – Juni bis August) und Herbst (④, SON – September bis November) aus dem Bayerischen Solaratlas (BAYSTMWIVT 2010).

In den Herbstmonaten September bis November erhält eine südlich ausgerichtete Fläche mit einem Neigungswinkel von 50° beispielsweise das 1,5-1,6fache an Strahlung im Vergleich zur horizontalen Ebene (Abbildung 6-2 ④; Farbklasse: orangerot). Eine nordwestlich ausgerichtete Fläche mit einem

Neigungswinkel von 30° enthält zur selben Jahreszeit jedoch nur das 0,6-0,7fache an Strahlung verglichen mit einer horizontalen Ebene (Abbildung 6-2 ④; Farbkategorie: türkis).

Das naturräumliche Potenzial der Dachflächen in der Region „Energiewende Oberland“ ergibt sich nun aus einer Kombination der Informationen über die vorhandenen freien Dachflächen und dem langjährigen Mittel der auf der Ebene ankommenden Globalstrahlungssummen: Dafür werden zunächst die langjährigen mittleren Monatssummen der Region aus den flächendeckenden Globalstrahlungsdaten des DWD zu jahreszeitlichen Summen für die Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Wintermonate aggregiert. Für jede freie Dachfläche werden dann diese saisonalen Summen am jeweiligen Standpunkt ausgelesen. Anhand der hinterlegten Werte für Neigung und Ausrichtung einer jeden Dachfläche werden die saisonalen Korrekturfaktoren aus den in Abbildung 6-2 ①-④ dargestellten Diagrammen ermittelt und mit den saisonalen Globalstrahlungssummen multipliziert. Daraus ergibt sich für jede vorhandene Dachfläche eine individuell bestimmte nutzbare Energiemenge. Für eine etwa 45 m² große Dachfläche mit einer Neigung von ca. 25° und einer südlichen Ausrichtung am Standort Bad Tölz ergeben sich beispielsweise die in Tabelle 6-1 dargestellten Werte.

Tabelle 6-1: Beispielrechnung zur Korrektur der Globalstrahlungswerte in Abhängigkeit von Dachneigung (25°) und Ausrichtung (südlich) anhand einer Dachfläche am Standort Bad Tölz. Die Korrekturfaktoren (ζ) sind Abbildung 6-2 ①-④ entnommen.

Saison	Globalstrahlungssumme auf der Ebene [kWh/m ²]	Korrekturfaktor ζ	Korrigierte Globalstrahlungssumme auf der geneigten Fläche [kWh/m ²]	Ankommende Energiemenge auf der gesamten Dachfläche [kWh/ 45 m ²]
März - Mai	362	1,15	416	18.720
Juni – Aug.	460	1,05	483	21.735
Sept. – Nov.	208	1,35	281	12.645
Dez. – Feb.	126	1,45	183	8.235
Jahr	1.156	--	1.363	61.335

Die betrachtete Dachfläche erhält je nach Jahreszeit im Schnitt die 1,05-1,45fache Menge der auf einer Ebene auftreffenden Strahlung. Dadurch ist die Jahressumme der verfügbaren Energie um das 1,2fache höher als auf einem Flachdach. Für die exemplarische Dachfläche aus Tabelle 6-1 mit einer Fläche von 45 m² und einer Neigung um 25° nach Süden bedeutet dies eine absolute nutzbare Energiemenge von mehr als 61 MWh.

6.2.3 Gebäudegebundene Anlagen

Für gebäudegebundene Anlagen kommen insbesondere die bereits erwähnten Dachflächen infrage. Im Zuge der Energiewende werden jedoch auch in Fassaden integrierte Anlagen zunehmend in Betracht gezogen. Im Folgenden werden daher beide Möglichkeiten untersucht. Für die Potenziale der Dach- und Fassadenflächen sind vor allem Informationen zu Anzahl bzw. Gesamtfläche der ungenutzten Dächer und Fassaden sowie Neigungswinkel und Ausrichtung der Dachflächen zur Sonne relevant.

6.2.3.1 Vorhandene Flächen

Zur Analyse der Dach- und Fassadenflächen hinsichtlich ihres Nutzungspotenzials für Photovoltaik- und solarthermische Anlagen wurde das dreidimensionale Gebäudemodell LoD2 des Bayerischen Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung herangezogen, das jeweils komplette Gebäude mit standardisierten Dachformen enthält (siehe Abbildung 6-3). Die im Datensatz enthaltenen Gebäudegrundrisse entsprechen exakt den Grundrissen des Liegenschaftskatasters. Die Modellierung der Dachflächen erfolgt anhand hochgenauer Laserscanning-Daten, aus denen Form, Höhe (z. B. First und Traufe) und Neigung der Dächer hervorgehen (LDBV 2015c). Für die Region „Energiewende Oberland“ enthält der Datensatz insgesamt 233.561 Gebäude mit einer Gesamtdachfläche von etwa 3.000 ha und Fassadenflächen von insgesamt ca. 5.000 ha. Etwa 9 % der Gebäude sind allerdings bereits von Photovoltaik- oder Solarthermie (ST)-Anlagen bedeckt.



Abbildung 6-3: Ausschnitt aus dem dreidimensionalen Gebäudemodell LoD2 des Landkreises Weilheim-Schongau (LDBV 2015c). Dargestellt sind die enthaltenen Gebäude sowie die Landnutzung der Stadt Weilheim i.OB (AdV 2015a).

6.2.3.2 Rechtliche Einschränkungen

Für gebäudegebundene Anlagen zur Nutzung von solarer Energie gibt es kaum rechtliche Einschränkungen. Eine parallel zum Dach oder der Fassade angebrachte Anlage ist baurechtlich in der Regel genehmigungsfrei. Jedoch gibt es Einschränkungen im Bereich des Denkmalschutzes. Die Errichtung einer PV- oder solarthermischen Anlage auf/an oder in der Nähe von Baudenkmälern, in Ensembles, in der Nähe von Denkmälern oder über Bodendenkmälern bedarf grundsätzlich einer Einzelfallprüfung. Hier wird ein Erlaubnisverfahren nach Art. 6 bzw. Art. 7 DSchG durchgeführt. Auch örtliche Vorschriften wie

beispielsweise Gestaltungs- und Erhaltungssatzungen sind zu berücksichtigen (BLfD 2012). Das Erlaubnisverfahren beinhaltet unter anderem die Abwägung ökologischer und ökonomischer Vor- und Nachteile sowie sämtliche Konsequenzen auf die (gebaute) Umwelt. Auf historisch bedeutsamen Denkmälern sind Solaranlagen allerdings abzulehnen (BLfD 2012). Hierzu zählen Kirchen, Kapellen, Kloster-, Schloss- und Burganlagen und andere Denkmäler mit besonderer historischer, kunsthistorischer, städtebaulicher oder landschaftsprägender Bedeutung sowie obertägig sichtbare Bodendenkmäler.

Gebäude auf denen nach Einzelfallprüfung die Errichtung einer Anlage möglich ist wurden in der Analyse berücksichtigt, alle übrigen Gebäude unter Denkmalschutz wurden ausgeschlossen. Nach Abzug dieser Gebäude sowie der bereits von PV- oder solarthermischen Anlagen bedeckten Flächen verbleiben etwa 2.432 ha freie Dachfläche sowie 4.386 ha Fassadenfläche für die gesamte Region „Energiewende Oberland“ (siehe Tabelle 6-2).

6.2.3.3 Theoretisches Potenzial

Aus den vorhandenen Dachflächen, auf denen sich noch keine Anlage befindet und die nicht durch denkmalschutzrechtliche Belange grundsätzlich auszuschließen sind, ergibt sich in Kombination mit den langjährigen Globalstrahlungswerten des DWD und den individuell ermittelten Korrekturfaktoren ein theoretisch nutzbares Gesamtpotenzial für die Region „Energiewende Oberland“, das in Tabelle 6-2 dargestellt ist.

Ein Beispiel dieser Berechnungen ist in Abbildung 6-4 dargestellt. Die Karten ① bis ④ zeigen jeweils die Summe an Strahlung [kWh/m²], die zur jeweiligen Jahreszeit nach der Korrektur durch Neigung und Exposition pro Dachfläche zur Verfügung steht. Karte ⑤ zeigt schließlich die jeweilige Jahressumme in kWh/m² an verfügbarer Energie pro Dachfläche. Hier ist gut erkennbar, wie stark sich Neigung und Ausrichtung auf einzelne Flächen auswirken können. So erreichen einige nördlich ausgerichtete Flächen lediglich ein Jahresangebot von 400-600 kWh/m², währenddessen auf den südlich ausgerichteten Flächen eine jährliche Energiemenge von bis zu 1.600 kWh/m² zur Verfügung steht.

Insgesamt ist auf den Dachflächen der Region eine absolute Energiemenge von 20.815 GWh pro Jahr verfügbar, das Potential auf Fassadenflächen beläuft sich auf 1.418 GWh/a (siehe Tabelle 6-2). Ein denkmalschutzrechtliches Erlaubnisverfahren ist bei etwa 4,2 % der Gebäude notwendig, für die übrigen 95,8 % ist keine Genehmigung oder Erlaubnis erforderlich.

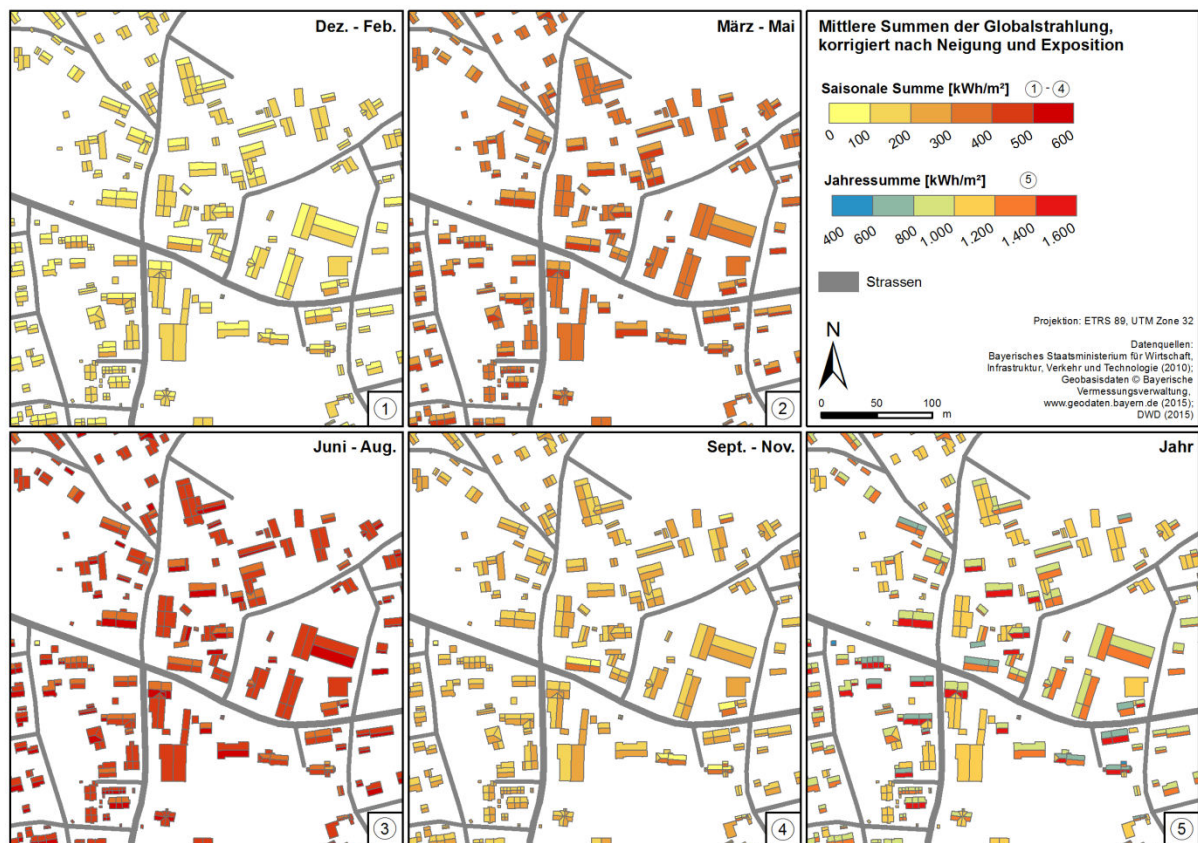


Abbildung 6-4: Beispiel für verfügbare Energiemengen verschiedener Dachflächen nach Jahreszeiten (Karten ①-④) und in der Jahressumme (Karte ⑤).

6.2.3.4 Technisches Potenzial

Unberücksichtigt bleiben im Hinblick auf eine für die Solarenergienutzung geeignete Orientierung alle nord-, nord-ost- und nord-west-orientierten Dachflächen sowie wie bereits erwähnt jeweils beide am nördlichsten orientierten Fassadenflächen. Für das technische Potenzial wurden weiterhin nicht nutzbare Dachflächenbereiche sowie Abschattungsbereiche aufgrund von Kaminen, Dachgauben und Fenstern durch einen Abschlag von 10 % der Dachflächen berücksichtigt (FRADJ UND LÖWNER 2012). Bei Fassadenflächen können durch Aussparen sämtlicher Tür- und Fensterflächen im Durchschnitt 93,5 % der Fläche nicht genutzt werden (KALTSCHMITT et al. 2013, WESSELAK UND VOSWINCKEL 2016). Nach dem „Leitfaden Energienutzungsplan“ (BAYStMUV et al. 2011) entspricht 1 kW_{peak} etwa 10 m² Modulfläche. Der Systemwirkungsgrad wird für PV mit 16,6 % und für Solarthermie mit 25 % angenommen (BAYStMUV et al. 2011, FRAUNHOFER ISE 2017).

Die nutzbaren Potentiale ermitteln sich schließlich aus der Multiplikation der Jahressumme der korrigierten Globalstrahlung, der technisch erschließbaren Dach- und Fassadenflächen und dem angenommenen Systemwirkungsgrad der Strom- bzw. Wärmeproduktion. In der Region lassen sich nach Tabelle 6-2 ca. 3.870 MW_{peak} an PV-Anlagenleistung erschließen, welche einen Ertrag von etwa 3.691 GWh Strom pro Jahr liefern könnten.

Tabelle 6-2: Potential zur Nutzung von Sonnenenergie auf Dach- und Fassadenflächen in der Region Oberland (LDBV 2015a, c).

Lkr./Region	Anzahl Gebäude gesamt	Verfügbare Ge- bäude ¹⁾	Verfügbare Fläche in ha	Potentielle Modul- fläche in ha ²⁾	Potentielle PV- Nennleistung [MW _{peak}]	Verfügbare Gesam- tenergie ³⁾	Potentieller Strom- ertrag [GWh/a] ⁴⁾	Potentieller Wärmeertrag [GWh/a] ⁵⁾
Bad Tölz-Wolfratshausen	74.943	67.178	2.099	713	1.183	9.556	1.589	2.389
davon Dachflächen	74.943	67.178	743	669	1.110	8.977	1.490	2.244
davon Fassaden	74.943	67.178	1.356	44	73	579	96	145
Miesbach	61.832	57.825	1.922	640	1.062	6.779	1.125	1.695
davon Dachflächen	61.832	57.825	666	599	994	6.341	1.053	1.585
davon Fassaden	61.832	57.825	1.256	41	68	438	73	109
Weilheim-Schongau	96.786	87.036	2.797	979	1.625	5.898	979	1.475
davon Dachflächen	96.786	87.036	1.023	921	1.529	5.497	913	1.374
davon Fassaden	96.786	87.036	1.774	58	96	401	67	100
„Energiewende Oberland“	233.561	212.039	6.818	2.332	3.870	22.233	3.691	5.558

1) abzgl. Gebäude unter Denkmalschutz sowie mit bestehender PV- oder ST-Anlage;

2) unter Berücksichtigung von Dachfenstern, Kaminen, Fenstern und Türen können 90 % der Dachflächen sowie 6,5 % der Fassadenflächen genutzt werden. Bei Fassaden wird außerdem angenommen, dass nur die beiden am südlichsten ausgerichteten Flächen pro Gebäude genutzt werden können;

3) auf der jeweiligen Modulfläche auftreffende Sonnenenergie;

4) Systemwirkungsgrad: 16,6 %;

5) Systemwirkungsgrad: 25 %

Der Unterschied des technischen Potenzials zwischen Photovoltaik und Solarthermie für dieselben zugrunde gelegten Flächen ergibt sich aus den unterschiedlichen Systemwirkungsgraden der Strom- bzw. der Wärmeproduktion. Dementsprechend verteilt sich im Bereich Solarthermie gemäß Tabelle 6-2 ein Potenzial von ca. 5.558 GWh Wärmeenergie auf die angenommenen Flächen pro Jahr.

Es muss jedoch wie erwähnt beachtet werden, dass die Stromgewinnung durch Photovoltaik-Anlagen und die Wärmegewinnung durch Solarthermie stehen hier in Konkurrenz zueinander. Die ermittelten Flächen sind für beide Nutzungsformen geeignet, können jedoch nur Raum für jeweils eine der Nutzungsformen bieten.

6.2.4 Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Die Eignung von Flächen für den Bau einer Freiflächenanlage hängt von verschiedensten Faktoren ab. Zunächst einmal soll hier anhand von Daten zu Meteorologie, Topographie, Hydrologie und Landnutzung der Region das naturräumliche Potenzial und anschließend unter Berücksichtigung der rechtlichen und administrativen Einschränkungen das verbleibende theoretische Potenzial ermittelt werden. Das BAYERISCHE LANDESAMT FÜR UMWELT (2014b) hat einen Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen herausgegeben. Darin wird detailliert auf sämtliche Regelungen hingewiesen. Im Folgenden wurde dieser Leitfaden als Hauptquelle verwendet. Bei Zitation abweichender Quellen sind diese in Klammern angegeben.

6.2.4.1 Naturräumliches Potenzial

Bei der Ermittlung des naturräumlichen Potenzials muss eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden. Neben meteorologischen und topographischen Faktoren spielen vor allem die unterschiedlichen Landbedeckungen eine entscheidende Rolle. Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Einflüsse und die daraus resultierenden Ausschlussflächen werden im Folgenden genauer erläutert.

6.2.4.1.1 Topographie

Die Topographie stellt eine sehr relevante Größe für das nutzbare Potenzial für Freiflächenanlagen dar. Hier spielen insbesondere die Hangneigung (in %) und die Ausrichtung der Hänge nach Himmelsrichtungen eine Rolle. Diese wurden jeweils anhand eines Digitalen Geländemodells (DGM25) berechnet (LDBV 2015b). Die Eignung einer Fläche hinsichtlich Hangneigung und Ausrichtung kann so später bei der Bestimmung des technischen Potenzials (siehe Abschnitt 6.2.4.4) bewertet werden.

6.2.4.1.2 Hydrologie

Generell werden alle vorhandenen stehenden Gewässer und Fließgewässer sowie Gewässerrandstreifen als mögliche Standorte ausgeschlossen (BKG 2008, LFU 2014b, AdV 2015a, LFU 2015b). Laut § 38 WHG (Wasserhaushaltsgesetz) beträgt die Breite des Gewässerrandstreifens im Außenbereich 5 m. Damit ergibt sich für das gesamte Untersuchungsgebiet eine Ausschlussfläche durch Gewässer und Gewässerrandstreifen von 157 km² (siehe Abbildung 6-5). Zudem werden Überschwemmungsgebiete

als nicht geeignete Standorte behandelt. Diese werden in der Regel von der zuständigen Behörde entsprechend der bei einem 100-jährlichen Hochwasser betroffenen Flächen vorläufig gesichert und schließlich nach § 76 WHG festgesetzt (LFU 2015g). Die Gesamtausschlussfläche durch Überlagerung der Gewässer mit Gewässerrandstreifen mit den festgesetzten und vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebieten beläuft sich auf 209 km² (siehe Abbildung 6-5).

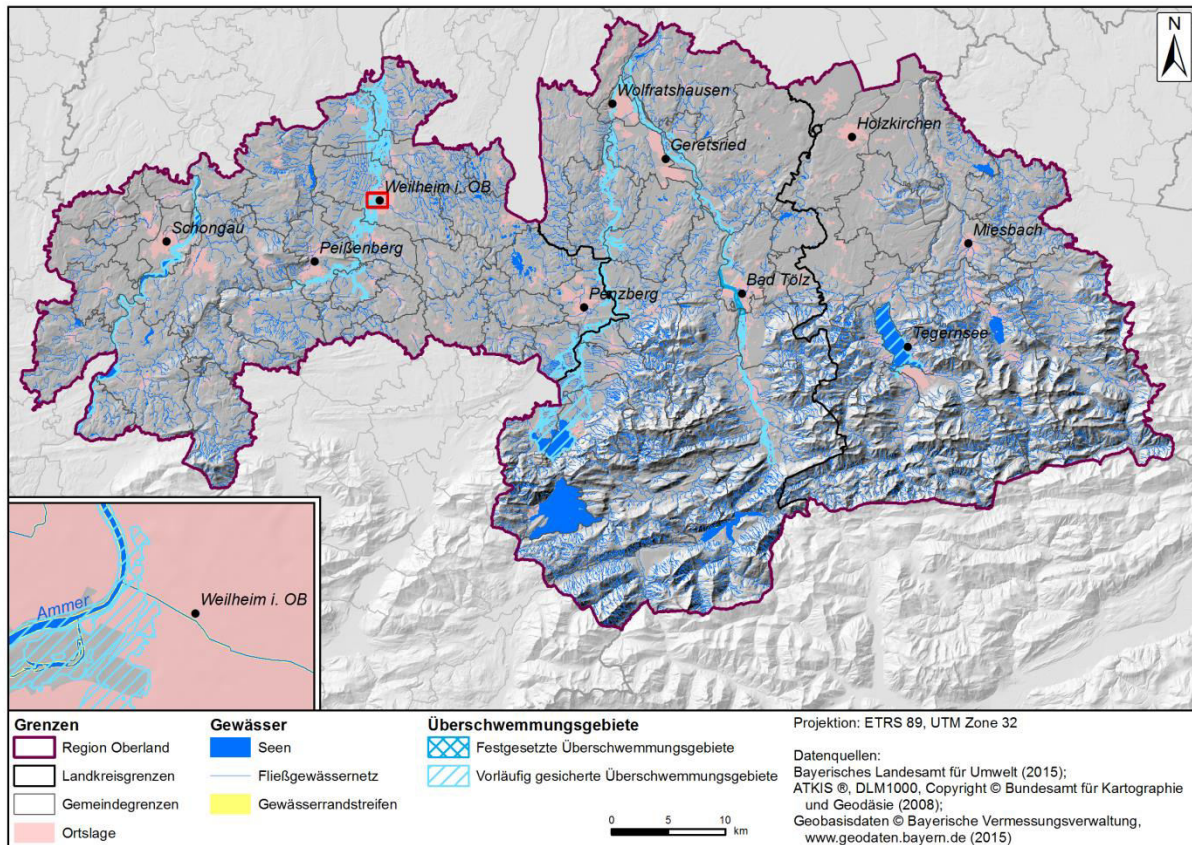


Abbildung 6-5: Gewässer mit Gewässerrandstreifen (5 m zu allen Seiten der Gewässer) sowie vorläufig gesicherte und nach § 76 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) festgesetzte Überschwemmungsflächen im Untersuchungsgebiet "Energiewende Oberland". Dadurch ergibt sich eine Gesamtausschlussfläche von 209 km².

6.2.4.1.3 Vegetation

Einige bestehende Landbedeckungen stellen ein Ausschlusskriterium für den Bau einer Photovoltaik-Freiflächenanlage dar. So können diese grundsätzlich nicht im Bereich von Wäldern errichtet werden. Diese Flächen sowie Baumreihen oder einzelne Baumstandorte können dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) entnommen werden (AdV 2015a). Für Baumreihen und einzelne Baumstandorte, die nur als Linien- und Punktdaten vorhanden sind, wurden Kronendurchmesser aus Orthofotos abgemessen und gemittelt (LDBV 2015d). Um eine Verschattung durch die Bäume sowie eine mögliche Beschädigung der Anlage durch Windwurf bestmöglich auszuschließen, wird ein Mindestabstand von 80 m zu geschlossenen Waldflächen angenommen (siehe Abbildung

6-6) (BAYStMI 2014). Die Waldflächen sowie Baumreihen und einzelne Baumstandorte ergeben unter Berücksichtigung des Mindestabstands eine gesamte Ausschlussfläche von 2.114 km².

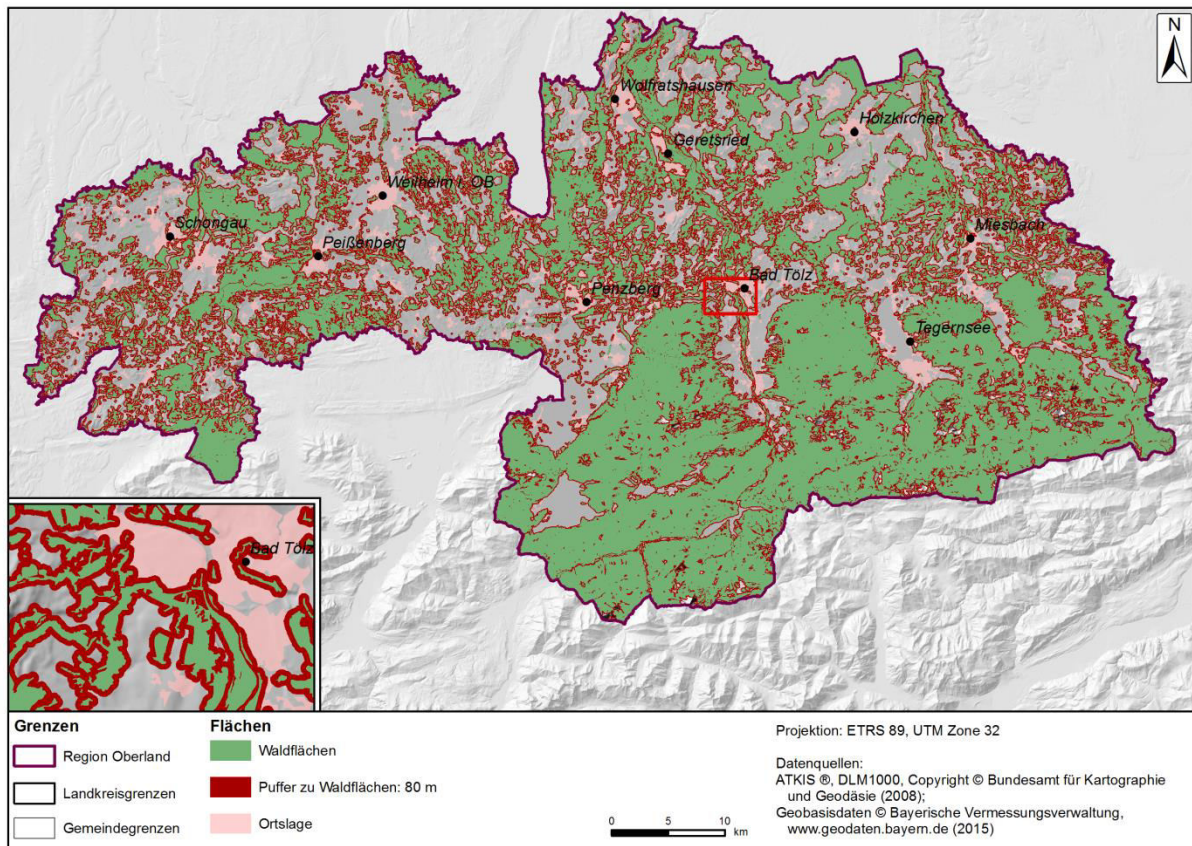


Abbildung 6-6: Waldflächen in der Region "Energiewende Oberland". Unter Berücksichtigung einer Pufferzone von 80 m ergibt sich eine Gesamtfläche von 2.114 km².

6.2.4.1.4 Versiegelte Flächen und Siedlungsstrukturen

Bestehende Siedlungs- und Verkehrsflächen werden ebenfalls als Ausschlussbereiche festgesetzt. Die Flächen sowie das Straßen- und Bahnnetz sind im ATKIS-Datensatz enthalten (AdV 2015a). Für das Straßennetz werden übliche Breiten laut RAS (Richtlinie für die Anlage von Straßen) bzw. RAA (Richtlinie für die Anlage von Autobahnen) angenommen, die Breite von Bahndämmen wurde aus Orthofotos abgemessen und geschätzt. Bei den versiegelten bzw. Siedlungsflächen wurden alle Flächen außer Gewerbeflächen und Mülldeponien als Ausschlussflächen berücksichtigt, da diese geeignete Flächen für die Installation von Freiflächenanlagen darstellen können und daher nicht kategorisch ausgeschlossen werden können (LFU 2014b). Dies muss im Einzelfall überprüft werden. Die überlagerte Gesamtfläche der Verkehrs- und Siedlungs- sowie anderer versiegelter Flächen (ohne Gewerbegebiete und Mülldeponien) beträgt demnach etwa 207 km².

6.2.4.1.5 Bestehende Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Nicht zuletzt müssen die Flächen ausgeschlossen werden, auf denen derzeit bereits gebäudeunabhängige Photovoltaikanlagen betrieben werden. In der gesamten Region sind 18 Anlagen mit einer gesamten Nennleistung von über 20 MWp installiert. Alle befinden sich im Landkreis Weilheim-Schongau. Insgesamt nehmen sie eine Fläche von knapp 0,31 km² ein (BAYSTMWi 2014b, ENERGYMAP 2015).

6.2.4.1.6 Nutzbare Fläche

Aus den bisher genannten Punkten ergibt sich das naturräumliche Potenzial der Region „Energiewende Oberland“ für die Installation weiterer Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Aus der Überlagerung aller ermittelten Flächen resultiert eine Gesamtausschlussfläche von 240.026 ha (siehe Abbildung 6-7). Folglich werden nach naturräumlichen Kriterien 54.374 ha als grundsätzlich für die Installation von PV-Freiflächenanlagen geeignet identifiziert, was gut 18 % der gesamten Gebietsfläche (294.400 ha) entspricht.

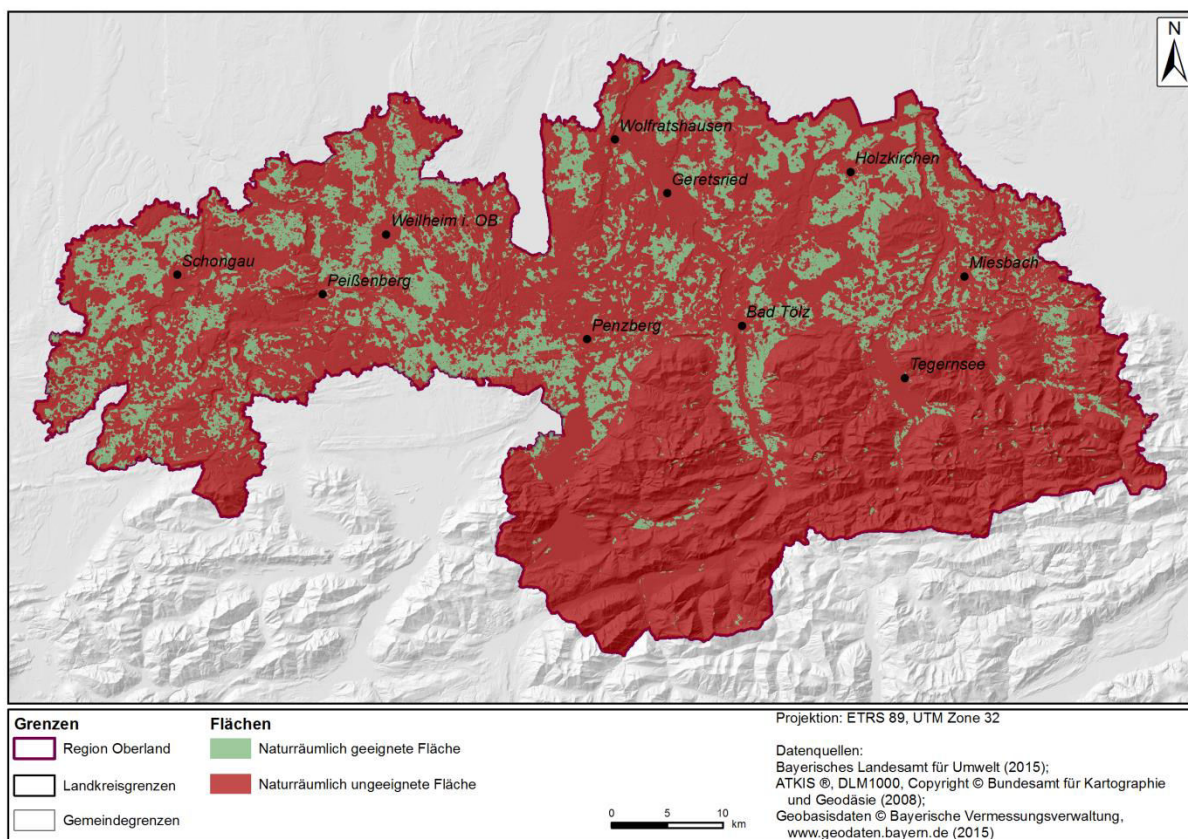


Abbildung 6-7: Naturräumlich geeignete bzw. ungeeignete Flächen für die Installation von PV-Freiflächenanlagen in der Region "Energiewende Oberland". 544 km² und damit gut 18 % der gesamten Gebietsfläche (2.944 km²) werden nach naturräumlichen Kriterien als geeignet betrachtet.

6.2.4.2 Rechtliche Einschränkungen

Neben den unter Kapitel 6.2.4.1 erwähnten naturräumlichen Kriterien sind außerdem rechtliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Grundsätzlich bedarf der Bau einer Photovoltaik-Freiflächenanlage anders als bei gebäudegebundenen Anlagen einer Genehmigung durch die zuständige kommunale Baubehörde. Sind innerhalb der Bauleitplanung die betreffenden Flächen nicht ausdrücklich für Photovoltaik-Freiflächenanlagen ausgewiesen und deshalb die möglichen Auswirkungen im Vorfeld durch eine Umweltprüfung untersucht worden, so gilt die Eingriffsregelung nach § 18 Abs. 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). Danach müssen Beeinträchtigungen, die durch den Eingriff in Natur und Landschaft entstehen, vorrangig vermieden werden. Falls eine Vermeidung nicht möglich ist, so müssen die Beeinträchtigungen kompensiert werden. Befindet sich das Vorhaben im Außenbereich, so ist keine Bauleitplanung erforderlich (§ 18 Abs. 2 Satz 2 BNatSchG). Hier gelten dann die naturschutzrechtlichen Bestimmungen (§§ 14 – 17 BNatSchG).

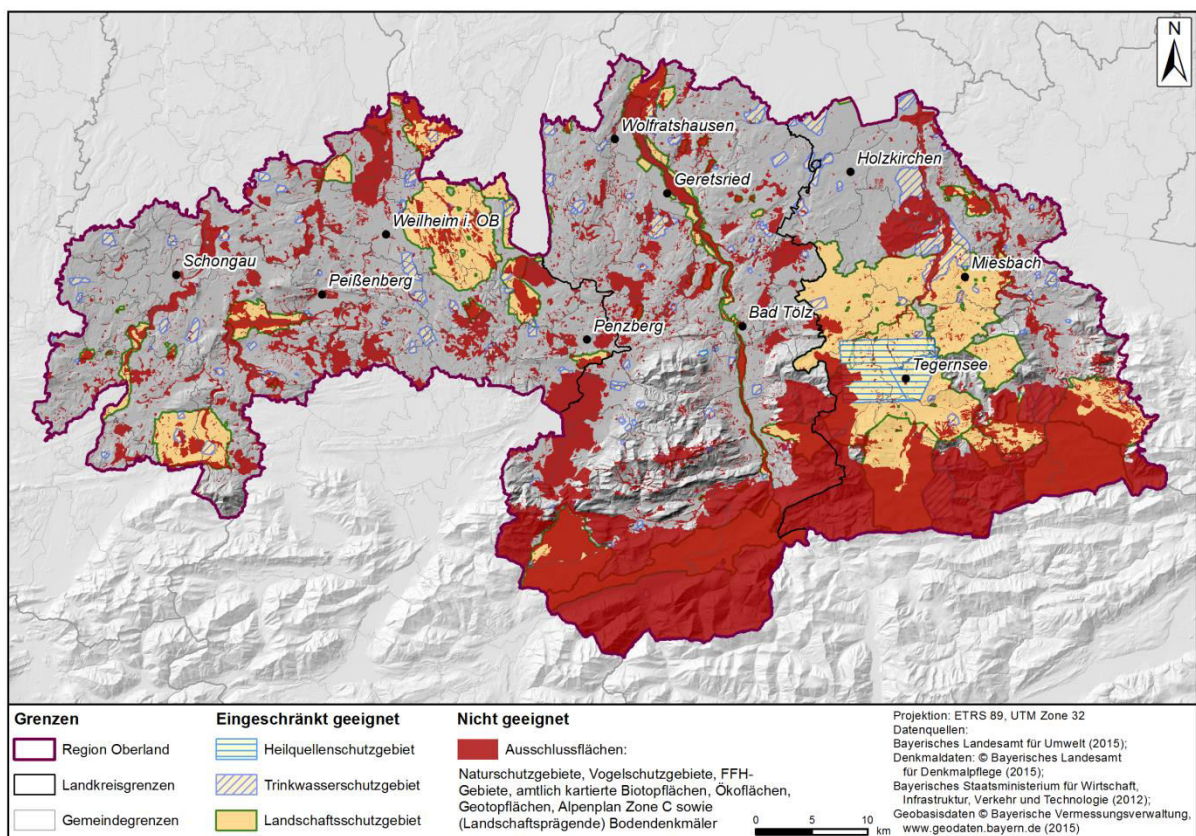


Abbildung 6-8: Nicht bzw. eingeschränkt geeignete Flächen für die Installation von PV-Freiflächenanlagen in der Region "Energiewende Oberland" aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen.

In vielen Schutzgebieten ist eine Errichtung von PV-Freiflächenanlagen ausdrücklich untersagt. Darunter fallen innerhalb der Region Natur- und Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete sowie Öko-, Geotop- und amtlich kartierte Biotopflächen. Auch im Bereich von (landschaftsprägenden) Bodendenkmälern dür-

fen keine PV-Freiflächenanlagen angelegt werden. Zudem wurde im Rahmen des Landesentwicklungsplans der Regierung von Oberbayern der sogenannte Alpenplan festgesetzt. In der darin enthaltenen Zone C, an der die Region „Energiewende Oberland“ im Süden einen Anteil hat, sind ebenfalls keine PV-Freiflächenanlagen gestattet (LFU 2014b). Im Falle von Heilquellen-, Trinkwasser- sowie Landschaftsschutzgebieten ist eine Nutzung für die Stromerzeugung durch Photovoltaik-Anlagen nicht grundsätzlich verboten. Hier bedarf es im Einzelfall einer genauen Prüfung der zuständigen Behörden (LFU 2014b).

Der Alpenplan ist Bestandteil der Landesentwicklungsprogramms und in digitaler Kartenform verfügbar (BAYSTMWIVT 2013). Die (landschaftsprägenden) Bodendenkmäler wurden vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege zur Verfügung gestellt (BLFD 2015). Alle übrigen Flächendatensätze wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) zur Verfügung gestellt (BLFD 2015, LfU 2015f, e, a, c, d). Durch die rechtlichen Einschränkungen ergeben sich überlagert insgesamt ca. 1.009 km² Ausschlussfläche (Abbildung 6-8).

6.2.4.3 Theoretisches Potenzial

Unter Berücksichtigung der naturräumlichen Voraussetzungen (Kapitel 6.2.4.1) sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen (Kapitel 6.2.4.2) ergibt sich für die Region „Energiewende Oberland“ das theoretische Flächenpotenzial zur Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Flächen innerhalb von Heilquellen-, Trinkwasser- oder Landschaftsschutzgebieten sind nur eingeschränkt geeignet. Hier sind eine Umsetzbarkeit sowie die Umweltverträglichkeit im Einzelfall von der zuständigen Behörde zu überprüfen. Allerdings ist auch bei den als geeignet eingestuften Flächen zu beachten, dass jede Photovoltaik-Freiflächenanlage einer Genehmigung durch die zuständige Baubehörde bedarf und auch in nicht naturschutzrechtlich geschützten Gebieten eine solche aus verschiedenen Gründen verweigert werden kann. Daher werden beide Fälle gleichwertig als geeignet behandelt.

Die größte theoretisch geeignete Fläche ist mit etwa 263 km² im Landkreis Weilheim-Schongau zu finden. Im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen ist eine Gesamtfläche von 147 km² geeignet. Die geringste Fläche findet sich im Landkreis Miesbach mit 134 km² (siehe Tabelle 6-3).

Das durchschnittliche jährliche Energieangebot der Globalstrahlung auf allen Flächen ist Abbildung 6-9 zu entnehmen. Wie unter Punkt 6.2.1 erwähnt, sind die Werte der Globalstrahlung in den nördlichen sowie nordwestlichen Bereichen der Region am höchsten. Hier ist der Landkreis Weilheim-Schongau besonders begünstigt.

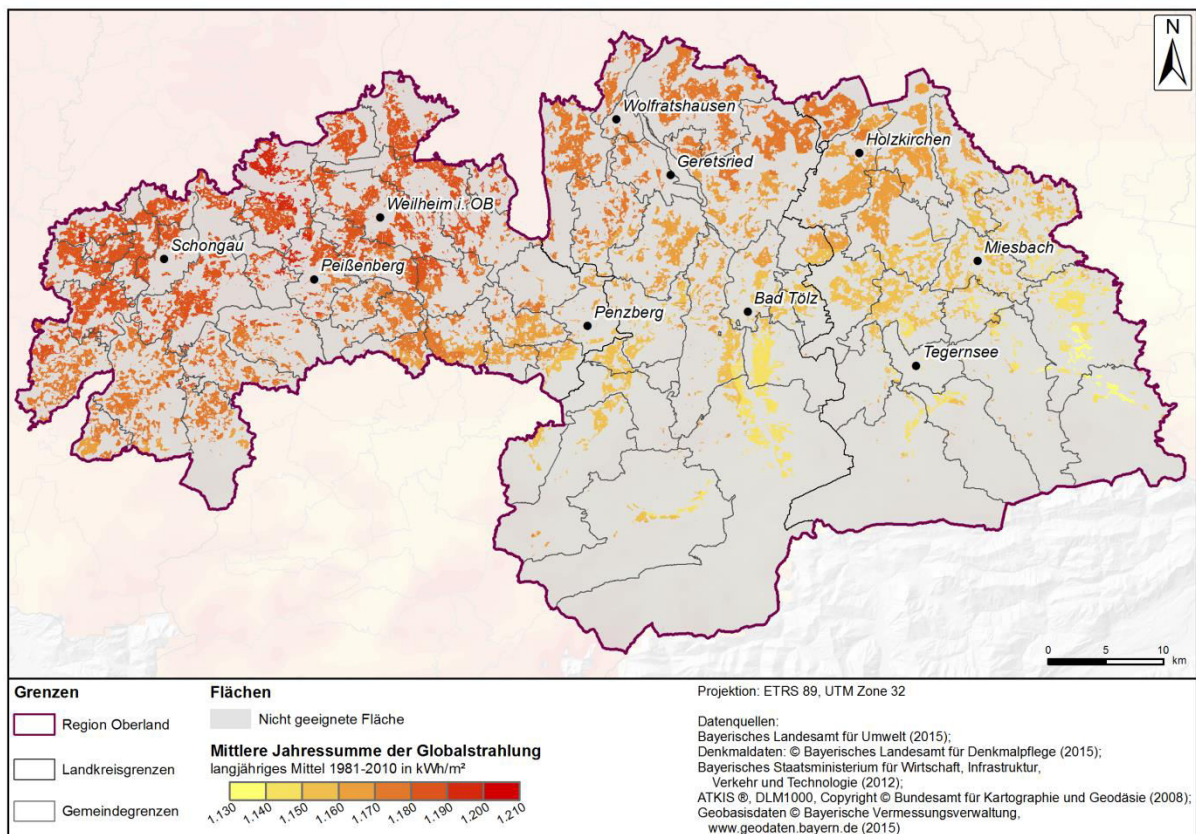


Abbildung 6-9: Mittlere jährlich verfügbare Energiemenge (= Globalstrahlung) auf den geeigneten sowie bedingt geeigneten Flächen in der Region „Energiewende Oberland“ in kWh/m² (eigene Berechnungen; DWD 2012).

6.2.4.4 Technisches Potenzial

Im Vergleich zu Dachflächen ist der spezifische Flächenbedarf für die Errichtung von Freiflächenanlagen mit $30 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{peak}}$ dreimal so hoch (LfU 2014c). Denn bei Freiflächenanlagen zählen neben der tatsächlichen Modulfläche auch Generatorflächen, Zwischenräume, Wege, Randstreifen sowie Ausgleichsflächen innerhalb des Grundstücks zur Gesamtfläche einer Anlage. Das Potential berechnet sich analog zu den gebäudegebundenen Anlagen aus der nutzbaren Fläche, dem anlagenspezifischen Flächenbedarf, der korrigierten Globalstrahlung (Anlagenneigung $32,5^\circ$, Süd-Ausrichtung) und dem Systemwirkungsgrad. Für die Nutzung der Solarthermie wird zudem angenommen, dass lediglich siedlungsnahe Freiflächen verwendet werden können, um zu große Wärmeverluste durch lange Transportwege zu vermeiden. Solarthermie-Freiflächenanlagen sind daher in dieser Studie nur im Umkreis von 100 m um Siedlungen realisierbar.

Insgesamt lässt sich gemäß Tabelle 6-3 auf den Freiflächen innerhalb der Region Oberland ein Stromertrag von ca. 44.969 GWh pro Jahr erzeugen. Der Landkreis Miesbach weist dabei mit etwa 10.919 GWh/a den geringsten Anteil an nutzbarer Energiemenge auf geeigneten Flächen auf, der Landkreis Weilheim-Schongau mit 21.910 GWh den höchsten. Durch die Nutzung mithilfe solarthermischer Anlagen ließen sich auf den dafür nutzbaren Flächen eine jährliche Wärmemenge von 45.885 GWh

bereitstellen. Auch hier wäre der Anteil des Landkreises Weilheim-Schongau mit insgesamt 24.017 GWh pro Jahr am höchsten.

Tabelle 6-3: Potential zur Nutzung von Sonnenenergie auf Freiflächen in der Region Oberland.

Lkr./Region	Verfügbare Fläche in ha	Potentielle Modulfläche in ha ¹⁾	Verfügbare Gesamtenergie ²⁾	Potentieller Stromertrag [GWh/a] ³⁾	Potentieller Wärmeertrag [GWh/a] ⁴⁾
Bad Tölz-Wolfratshausen					
Freiflächen für PV	14.744	4.915	73.131	12.140	-
Freiflächen für ST	14.744	1.588	49.118	-	12.279
Miesbach					
Freiflächen für PV	13.352	4.451	65.778	10.919	-
Freiflächen für ST	13.352	1.438	38.354	-	9.589
Weilheim-Schongau					
Freiflächen für PV	26.278	8.759	131.989	21.910	-
Freiflächen für ST	26.278	2.830	96.068	-	24.017
Gesamt PV	54.374	18.125	270.898	44.969	-
Gesamt ST	54.374	5.856	183.540	-	45.885

1) Bei Freiflächenanlagen beträgt die Modulfläche aufgrund von Infrastruktur, Modulabstand und Ausgleichsflächen nur etwa 33,3 % der vorhandenen Fläche;

2) auf der jeweiligen Modulfläche auftreffende Sonnenenergie;

3) Systemwirkungsgrad: 16,6 %;

4) Systemwirkungsgrad: 25 %

6.2.5 Zusammenfassung Photovoltaik/Solarthermie

Abbildung 6-10 ist zu entnehmen, dass das ungenutzte Potenzial der PV-Stromerzeugung mit insgesamt 48.661 GWh/a vor allem durch die Nutzung von Freiflächen mit 44.969 GWh/a bereitgestellt werden könnte. Das ungenutzte Potenzial der Dachflächen beträgt 3.456 GWh/a, das der Fassadenflächen 236 GWh/a. Bei der solaren Wärmeerzeugung besteht gemäß Abbildung 6-11 ein ungenutztes Potenzial von 51.442 GWh/a. Auch hier entfällt der Großteil auf Freiflächenanlagen mit einem Wärmeenergiepotential von 45.885 GWh/a. Auf Dachflächen könnten 5.203 GWh/a und auf Fassadenflächen 354 GWh/a bereitgestellt werden.

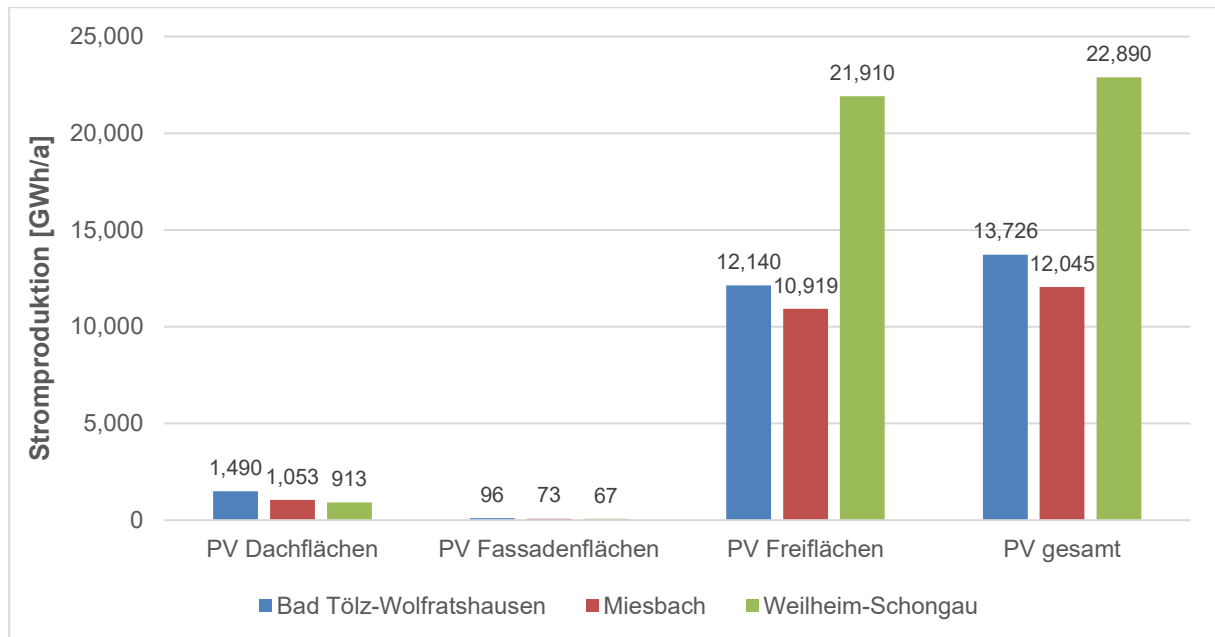


Abbildung 6-10: Ungenutztes PV-Potenzial zur Stromerzeugung für Dach-, Fassaden- und Freiflächenanlagen

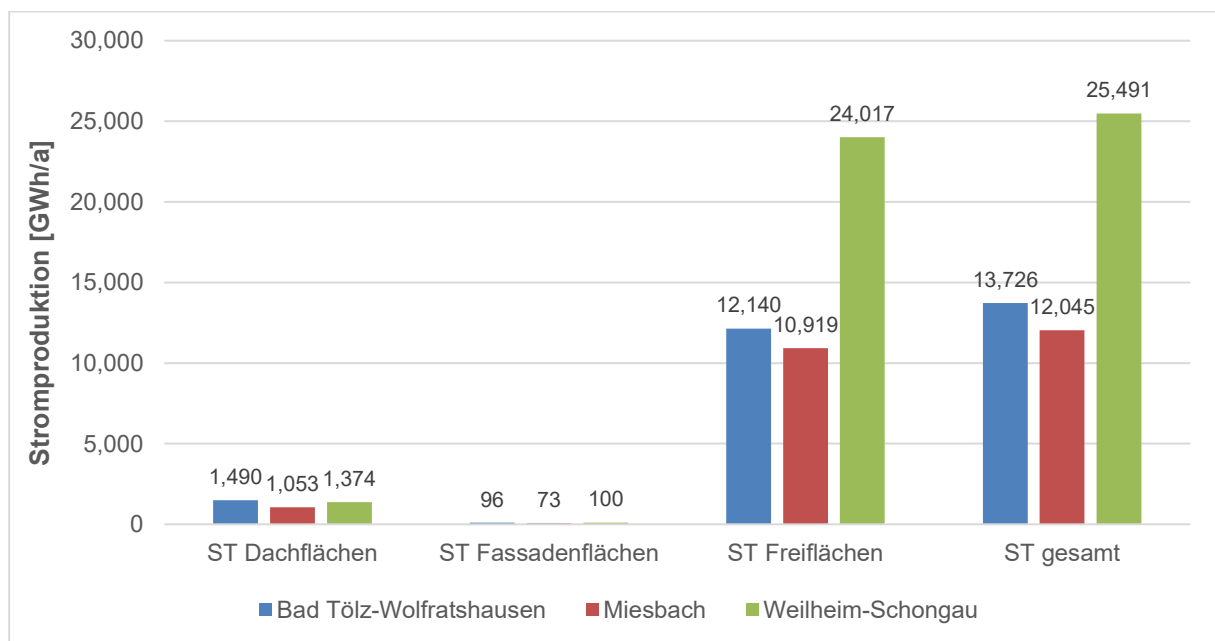


Abbildung 6-11: Ungenutztes Solarthermie-Potenzial zur Wärmeerzeugung für Dach- und Fassaden- und Freiflächenanlagen

6.3 Wasserkraft

Laut dem Bayerischen Energiekonzept stellt die Wasserkraft den wichtigsten und am stärksten ausgebauten Erneuerbaren Energieträger in Bayern dar (BAYSTMWIVT 2011). Durch die tageszeitenunabhängige Verfügbarkeit hat die Wasserkraft eine stabilisierende Funktion für das bayerische Energiesystem, da sie sowohl für die Grund- und Mittellast als auch für die Spitzenlast eingesetzt werden kann (BAYSTMWIVT 2011).

Die Bayerische Staatsregierung hat sich zum Ziel gesetzt, die Stromerzeugung aus Wasserkraft in Bayern bis ins Jahr 2021 weiter auszubauen und zu diesem Zweck eine **Vereinbarung über die nachhaltige Wasserkraftnutzung an staatlichen Gewässern in Bayern („Eckpunktepapier“)** mit den großen Wasserkraftwerksbetreibern geschlossen, die eine nachhaltige Nutzung der Wasserkraft stärken und behördliche Verfahren in diesem Zusammenhang beschleunigen soll (BAYSTMUV et al. 2006, BAYSTMWIVT 2011).

Im Jahr 2009 wurde in diesem Zusammenhang eine umfassende Potenzialstudie „Ausbaupotenziale Wasserkraft in Bayern“ von den großen Wasserkraftwerksbetreibern in Auftrag gegeben, in der sowohl die Ausbaupotenziale bestehender Anlagen sowie Potenziale für neue Wasserkraftanlagen untersucht wurden (E.ON UND BEW 2009).

Die untersuchten Ausbaupotenziale beinhalten dabei (E.ON UND BEW 2009):

- **Potenzialerhöhung durch Modernisierung:**

Hiermit sind Maßnahmen gemeint, die bei gleichbleibender Nutzung zu einem höheren Stromertrag führen. Diese beinhalten sowohl die Modernisierung der Kraftwerkstechnik als auch eine Anpassung der Steuerung.

- **Potenzialerhöhung durch Verbesserung des Ausbaugrades:**

Dabei ist in der Regel eine Erweiterung der bestehenden Anlage um eine Turbine oder eine Erhöhung der Durchflussmenge nötig, die dann eine Nutzung von zusätzlichem Volumen bei ausreichender Wasserverfügbarkeit möglich macht.

- **Potenzialerhöhung durch kurzfristige Stauzielerhöhung:**

Hiermit ist eine Erhöhung des Dauerstauziels vom einzuhaltenden Stauziel bei Normalwasserbedingungen auf das Stauziel im Hochwasserfall gemeint. Dadurch kann bei Normalwasserbedingungen eine höhere Fallhöhe ausgenutzt und so mehr Leistung erzielt werden; im Falle eines zu erwartenden Hochwassers kann durch erneute Stauzielverringerung das notwendige Retentionsvolumen für den Hochwasserfall gesichert werden.

- **Potenzialsteigerung durch Erhöhung des Wirkungsgrads:**

Vor allem bei älteren Anlagen könnte der Wirkungsgrad gesteigert werden. Diese Art der Potenzialsteigerung ist jedoch meist mit hohen Investitionskosten verbunden.

- **Neubau an neuen Standorten:**

Der Bau neuer Anlagen ist nur sehr eingeschränkt möglich, da die großen Flüsse weitgehend für eine Nutzung der Wasserkraft ausgebaut sind und zudem jeder Neubau einen zusätzlichen Eingriff in Natur und Landschaft darstellt. Dennoch bieten Neuanlagen z. T. großes Potenzial und aus Sicht der Betreiber sind einzelne Projekte durchaus realisierbar.

- **Neubau an bestehenden Querbauwerken:**

Auch bereits bestehende Querbauwerke können Potenzial für eine Wasserkraftnutzung bieten. Vorteil hierbei ist, dass sie im Gegensatz zu Neubauten keinen oder nur einen geringen zusätzlichen Flächenverbrauch und Eingriff in die Natur darstellen. Mit der Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG, § 35 Absatz 3) hat der Bundesgesetzgeber festgelegt, dass die zuständige Behörde zu prüfen hat, ob nach den Standortgegebenheiten eine Wasserkraftnutzung möglich ist, sofern langfristig kein Rückbau des betreffenden Querbauwerks vorgesehen ist.

6.3.1 Potenzial laut Untersuchungen des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU)

In Abbildung 6-12 ist das ermittelte Ausbaupotenzial bestehender Wasserkraftanlagen sowie das Neubaupotenzial an vorhandenen Querbauwerken in der Region „Energiewende Oberland“ dargestellt. Die Daten der Querbauwerke basieren auf einer Untersuchung, die nach den Vorgaben des WHG § 35 (3) durchgeführt wurde (LfU 2012). Die Daten zum Modernisierungs- und Nachrüstungspotenzial bestehender Wasserkraftanlagen werden von den großen Wasserkraftbetreibern über das wasserwirtschaftliche Informationssystem INFOWAS zur Verfügung gestellt. Demnach wurden von 98 vorhandenen Wasserkraftanlagen lediglich 2 Anlagen als für eine mögliche Potenzialerhöhung durch Modernisierung bzw. durch Nachrüstung geeignet eingestuft (BAYStMWi 2014b).

Bei dieser Analyse wurden die Querbauwerke lediglich hinsichtlich ihrer technisch umsetzbaren Potenziale untersucht. Reguläre Genehmigungsverfahren können hier zu abweichenden Ergebnissen führen. Von den vorhandenen Querbauwerken in der Region wurden 16 Bauwerke insbesondere an Loisach und Mangfall als für die Wasserkraftnutzung geeignet eingestuft. Das vorhandene Potenzial beläuft sich hier auf eine rechnerische mittlere Leistung von insgesamt etwa 2.889 kW. Insgesamt 8 Bauwerke an Ammer, Loisach und Isar wurden als nicht geeignet bewertet. Außerdem wird für 5 Anlagen ein Modernisierungs- und Nachrüstungspotential ausgewiesen (LfU 2012, BAYStMWi 2014b).

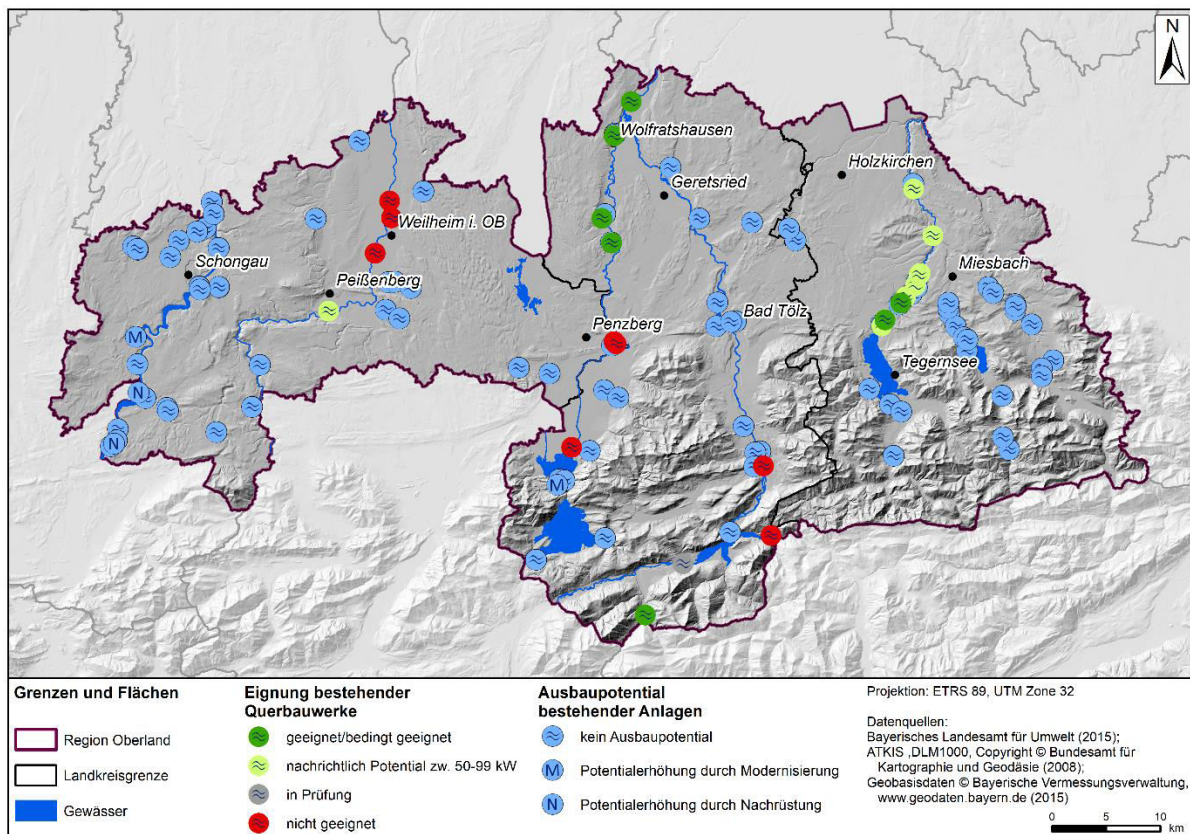


Abbildung 6-12: Ergebnisse der Untersuchung von Neubaupotenzialen an bestehenden Querbauwerken sowie Ausbaupotenzialen vorhandener Wasserkraftanlagen in der Region "Energiewende Oberland" (LfU).

6.3.2 GIS-gestützte Potenzialanalyse

Neben der Auswertung der vorhandenen Untersuchungen durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) wurde zusätzlich eine GIS-gestützte Potenzialanalyse durchgeführt. Als Grundlage hierfür wurde zum einen ein digitales Geländemodell mit einer räumlichen Auflösung von 25 m (DGM25) verwendet. Zum anderen standen aus dem Projekt GLOWA-Danube¹ für die gesamte Region flächendeckend simulierte, langjährig gemittelte Jahressummen (1971 – 2000) des Niederschlags und der Verdunstung zur Verfügung (MAUSER UND BACH 2009, MAUSER UND PRASCH 2015).

Die gesamte Berechnung des Potenzials stützt sich zunächst auf die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung (Gleichung 1):

$$A = N - V \pm \Delta S \quad (1)$$

¹ Im Projekt GLOWA-Danube wurden die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Einzugsgebiet der oberen Donau untersucht. Hierfür wurde ein physikalisch basiertes Tool zur Simulation von Landoberflächenprozessen unter Berücksichtigung anthropogener Eingriffe verwendet. Weiterführende Informationen unter <http://www.glowa-danube.de> bzw. in MAUSER UND PRASCH (2015).

wobei:

A	=	Abfluss	[mm]
N	=	Niederschlag im Einzugsgebiet	[mm]
V	=	Verdunstungs oder Evapotranspiration	[mm]
ΔS	=	Rücklage oder Aufbrauch von Wasser im Einzugsgebiet (Speicherglied)	[mm]

Das sogenannte Speicherglied ΔS , das die zwischenzeitliche Speicherung von Wasser in Schnee und Eis beinhaltet, kann bei einer Analyse der jährlichen Werte vernachlässigt werden. Lediglich bei einer saisonalen oder monatlichen Untersuchung müsste man auch Schnee und Eis berücksichtigen. Für die vorliegende Analyse wurden die Jahressummen der Verdunstung und des Niederschlags verwendet, sodass sich die Wasserhaushaltsgleichung wie in Gleichung (2) folgt reduzieren lässt (NISCHLER et al. 2011):

$$A = N - V \quad (2)$$

Die Differenz aus Niederschlags- und Verdunstungssummen ergibt also die jährliche Abflussmenge [mm] für das Gebiet.

Über die Software ArcGIS wurde aus dem Raster-DGM zunächst für jede Rasterzelle die Fließrichtung eines dort auftreffenden Wassertropfens beschrieben. Dabei wird jeweils die Richtung der stärksten Absenkung zu einer Nachbarzelle bestimmt. Anschließend wurde für jede Zelle berechnet, wie viele der bergwärts liegenden Zellen aufgrund der zuvor ermittelten Fließrichtung in die betrachtete Rasterzelle entwässern, sodass sich am Ende aus den Zellen mit den höchsten Akkumulationswerten der Verlauf des tatsächlichen Gewässernetzes ergibt. Zusätzlich wurde hier für jede Rasterzelle eine Gewichtung mit der jährlichen Abflussmenge [mm] vorgenommen. So ergibt sich am Ende für jede Zelle die Menge an Wasser [kg/m²], die innerhalb eines Jahres im Schnitt dort ankommt. Unter Einbeziehung der räumlichen Auflösung des DGM von 25 m erhält man die jährliche Wasserbilanz [kg/Rasterzelle] des betrachteten Gebiets (für 1 kg/m² a ergeben sich 25 * 25 = 625 kg/Rasterzelle) (NISCHLER et al. 2011).

6.3.2.1.1 Theoretisches Potenzial

Die Berechnung des theoretischen Energie-Potenzials für Wasserkraft in der Region basiert auf der Gleichung (3) der potenziellen Energie:

$$E_{pot} = m * g * \Delta h \quad (3)$$

wobei:

E_{pot}	=	Potenzielle Energie	[J] bzw. [Ws]
-----------	---	---------------------	---------------

m	=	Masse	[kg]
g	=	Erdbeschleunigung	[m/s ²]
Δh	=	Höhendifferenz	[m]

Die in Kapitel (6.3.2) dargestellte jährliche Wasserbilanz [kg/Rasterzelle] stellt in dieser Gleichung den Term der Masse m dar. Die Erdbeschleunigung g wird mit 9,80665 m/s² angegeben. Die Höhendifferenz Δh bezeichnet im vorliegenden Fall die sogenannte Fallhöhe, die den Höhenunterschied [m] zwischen einer Rasterzelle und der in Fließrichtung nächsten Nachbarzelle beschreibt. Dieser wurde entlang der extrahierten Gewässerverläufe für jede Rasterzelle berechnet.

Die Gleichung (3) für die potenzielle Energie wird nun für die Berechnung des theoretischen Energiepotenzials für Wasserkraft - wie in Gleichung (4) angegeben - angewendet (NISCHLER et al. 2011):

$$E_{pot} \left[\frac{MWh}{a} \right] = \frac{\text{Wassermenge} \left[\frac{kg}{625 m^2 * a} \right] * \text{Erdbeschleunigung} \left[\frac{m}{s^2} \right] * \text{Fallhöhe} [m]}{3.600 s * 1.000.000 W} \quad (4)$$

Das Ergebnis der GIS-basierten Berechnung ist in Abbildung 6-13 dargestellt. In blau sind sämtliche bestehenden Wasserkraftwerke der Region „Energiewende Oberland“ dargestellt. Die roten Punkte kennzeichnen alle Rasterzellen mit einem ermittelten theoretischen Potenzial von mehr als 10 MWh/a. Punkte mit einem theoretischen Potenzial unter 10 MWh/a sind aus Gründen der Lesbarkeit in der Karte nicht dargestellt, gehen jedoch in die Berechnung des gesamten theoretischen Energiepotenzials mit ein.

Das größte Potenzial laut dieser Studie liegt vor allem im Einzugsgebiet der Isar in der Gemeinde Lengries mit etwa 1.500 MWh/a sowie an der Mangfall in der Gemeinde Weyarn mit ca. 332 MWh/a Potenzial. Insgesamt wurde für die gesamte Region „Energiewende Oberland“ ein theoretisches Energiepotenzial für Wasserkraft von 85.850 MWh/a berechnet (siehe Tabelle 6-4). Den größten Anteil daran hat der im Einzugsgebiet der Isar liegende Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen mit 75.403 MWh/a, gefolgt von Miesbach im Mangfall-Einzugsgebiet mit einem Potenzial von 4.721 MWh/a. Weilheim-Schongau ist mit Anteilen an den Einzugsgebieten Lech und Ammer an dritter Stelle mit einem Potenzialwert von 5.726 MWh/a. Hier macht sich die Topographie der Region bemerkbar, die im Landkreis Weilheim-Schongau bereits wesentlich flacher ausfällt als in den Randgebirgslagen der Landkreise Bad Tölz-Wolfratshausen und Miesbach.

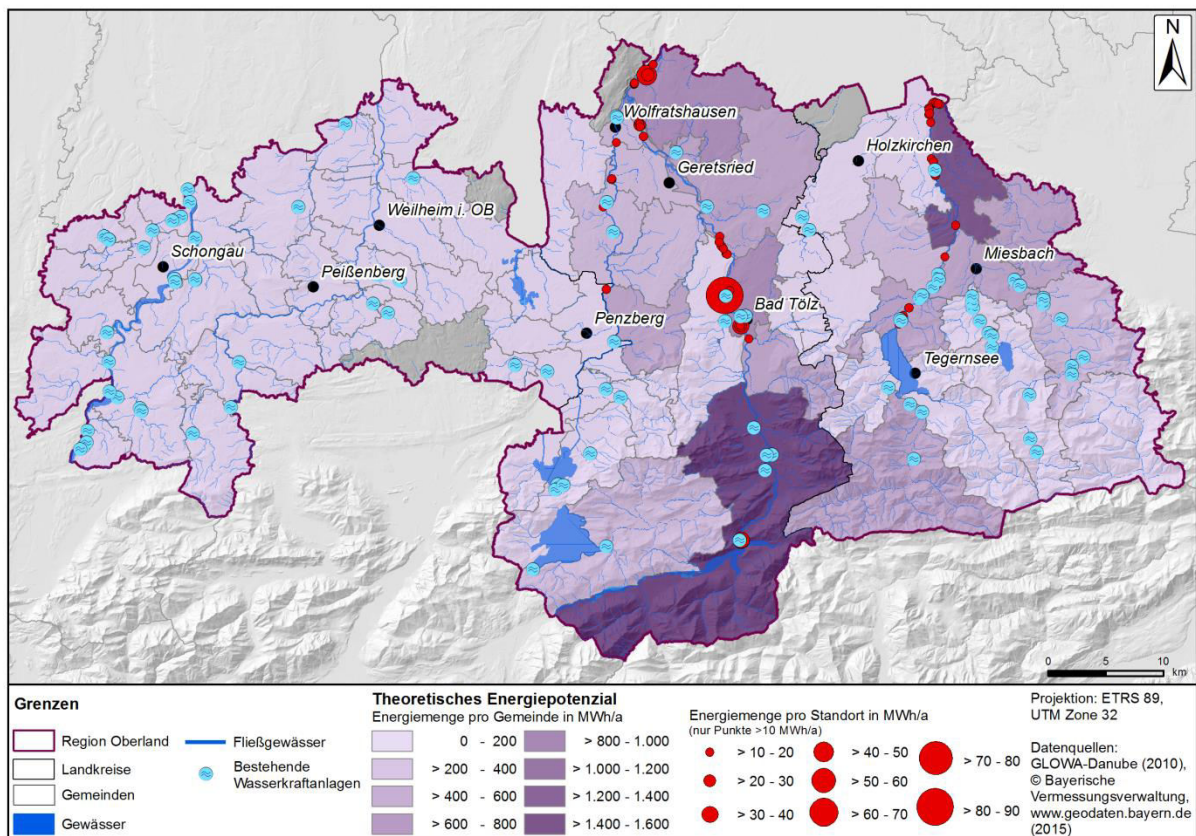


Abbildung 6-13: Ergebnis der GIS-gestützten Potenzialanalyse. Dargestellt sind die vorhandenen Wasserkraftanlagen (blau) sowie das energetische Potenzial einzelner Rasterzellen in MWh/a. Dabei wurde zur besseren Lesbarkeit ein Schwellwert von 10 MWh/a gewählt. Im Hintergrund ist jeweils die Summe des energetischen Potenzials pro Gemeinde dargestellt.

Bei der vorliegenden Analyse muss beachtet werden, dass sämtliche ermittelten Potenziale noch nicht die bereits bestehenden Anlagen berücksichtigen und daher nicht automatisch als geeignete Standorte für den Neubau von Wasserkraftanlagen verstanden werden dürfen. Ein Abgleich diesbezüglich muss bei expliziter Betrachtung einzelner Standorte durchgeführt werden.

Tabelle 6-4: Theoretisches Energiepotenzial für Wasserkraft in den drei Landkreisen der Region „Energiewende Oberland“.

Lkr./Region	Theoretisches Energiepotenzial in MWh/a
Bad Tölz-Wolfratshausen	75.403
Miesbach	4.721
Weilheim-Schongau	5.726
„Energiewende Oberland“	85.850

6.3.2.1.2 Rechtliche Belange

Belange der Gewässerökologie müssen im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) beachtet werden. Bei der Nutzung der Oberflächengewässer ist laut WRRL (2000):

- „eine nachteilige Veränderung ihres ökologischen und chemischen Zustandes zu vermeiden“ und
- „ein guter ökologischer und chemischer Zustand zu erhalten oder zu erreichen“

Diese Belange und die Einhaltung der Richtlinie müssen für jeden möglichen Standort im Einzelfall geprüft werden und sind daher nicht Bestandteil der vorliegenden Analyse.

6.3.3 Technisches Potenzial

Wie bereits in Kapitel 0 erwähnt, will der Freistaat Bayern die Stromerzeugung aus Wasserkraft erhöhen. Die Änderung des Nutzungsumfanges, Steigerung der Wirkungsgrade und Verbesserung der Steuerungen bei bestehenden Anlagen ist dafür ausschlaggebend. Dies soll im Zuge der Nachrüstung und Modernisierung geschehen (BAYSTMWi 2014b).

Das in Kapitel 6.3.1 aufgeführte Potenzial für Querbauten beträgt in der Region Oberland etwa 2,9 MW. Für die Modernisierung und Nachrüstung bestehender Anlagen wird je eine Kapazitätssteigerung von 10 % angenommen, sodass sich das Potential hier auf 16,3 MW beläuft. Wie sich das auf die einzelnen Landkreise verteilt lässt sich aus Tabelle 6-5 entnehmen. Die Volllaststundenzahl wurde mit 5000 h/a angenommen. Hierdurch können etwa 45 GWh/a Strom zusätzlich produziert werden.

Für die Ermittlung des Potenzials großer Wasserkraftanlagen, mit einer Ausbauleistung ab rd. 1 MW, wurde die EON Potenzialstudie verwendet (E.ON Wasserkraft GmbH, 2009). Laut dieser stehen nur noch wenige Standorte für den Bau neuer großer Wasserkraftanlagen zur Verfügung. Der einzige Standort in der Region ist hierbei der Auslauf des Walchenseekraftwerks, mit einem Potenzial von 15,2 GWh/a, welcher jedoch bereits 2011 mit einer Nennleistung von 2,2 MW erschlossen wurde.

Tabelle 6-5: Potenzial für Querbauten zu Wasserkraftnutzung innerhalb der Region Oberland

Lkr./Region	Leistung in kW		Ertrag in GWh	
	Neubau an Querbauwerken	Modernisierung/ Nachrüstung	Neubau an Querbauwerken	Modernisierung/ Nachrüstung
Bad Tölz-Wolfratshausen	1.927	12.400	8,5	18,0
Miesbach	897	-	3,9	-
Weilheim-Schongau	65	3.921	0,3	14,4
„Energiewende Oberland“	2.889	16.321	12,7	32,4

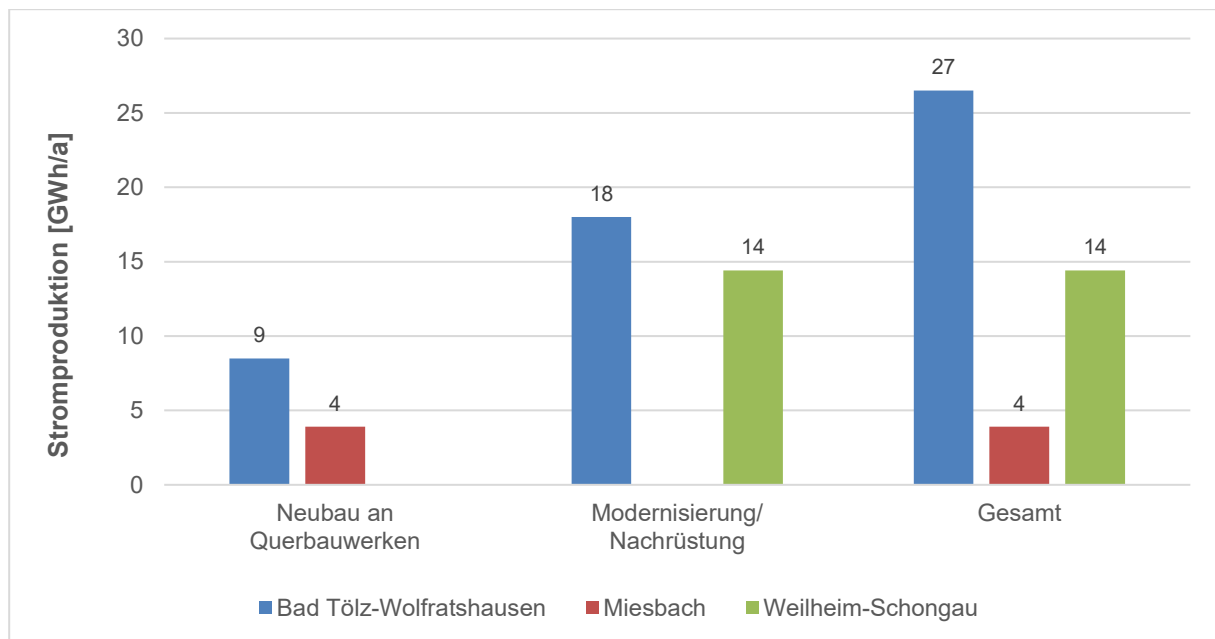


Abbildung 6-14: Ungenutztes Potenzial der Wasserkraftanlagen

Eine weitere Möglichkeit aus Wasser Energie zu gewinnen besteht in der Nutzung von Trinkwasserkraftwerken, Kraftwerken in Bewässerungskanälen und Abwasserkraftwerken. Diese Möglichkeiten müssen jeweils im Einzelfall überprüft werden (PELIKAN 2009).

6.4 Pumpspeicher

Mit dem angestrebten Ziel der Region, bis 2035 unabhängig von fossilen Energieträgern zu werden, gewinnt mittel- und langfristig auch die Thematik der Energiespeicherung durch Pumpspeicherwerke (PSW) an Bedeutung. Aufgrund der Betriebsweise von PSW sind diese in erster Linie zur Kompensation kurzfristiger Ertragsschwankungen im Minuten- bis Stundenbereich geeignet, wie sie häufig bei Wind- und Sonnenenergie auftreten.

Als fachliche Grundlage zur Ermittlung von PSW-Potenzialen in der Region wurde die vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in Auftrag gegebene Pumpspeicherpotenzialanalyse für Bayern herangezogen (LfU 2014a). In der vom Ingenieurbüro Lahmeyer Hydroprojekt durchgeführten und mit dem Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) fachlich abgestimmten Untersuchung

wurden bayernweit insgesamt 16 „TOP-Standorte“ für die Errichtung von PSW identifiziert. Bei der Studie berücksichtigt wurden dabei:

- Eine GIS-basierte topographische Analyse für die Identifikation geeigneter Gebiete für Ober- und Unterbecken
- Ausschlussflächen im Siedlungsbereich
- Naturschutz- und Wasserschutzgebiete
- Abschätzung der Wirtschaftlichkeit (Verhältnis von Aufwand zu Ertrag)

Von diesen 16 „TOP-Standorten“ befinden sich vier in der Region Energiewende Oberland (siehe Tabelle 6-6), wobei der Jochberg als potenzielles Oberbecken doppelt aufgeführt ist, jeweils mit dem Unterbecken Walchensee (m) und Kochelsee (n). Dazu kommt der Mitterberg (o) mit dem Unterbecken Walchensee sowie ohne nähere Spezifikation der Sylvensteinspeicher (q). Alle aufgeführten Varianten liegen im süd-östlichen Bereich des Landkreises Bad Tölz-Wolfratshausen. Lässt man die PSW-Variante Jochberg/Kochelsee außer Acht, so ergibt sich in der Region der Studie zufolge ein Pumpspeicherpotenzial in der Größenordnung zwischen 1.500 - 3.000 MW mit einem potenziellen Energieertrag von 3.200 – 5.600 GWh/a.

Tabelle 6-6: „TOP-Standorte“ für PSW in der Region „Energiewende Oberland“ auf Basis der vom bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in Auftrag gegebenen Analyse von Pumpspeicherpotenzialen in Bayern (LfU 2014a).

Bezeichnung	Nr.	Ausbauleistung [MW]	Ertragspotenzial [GWh/a]	Landkreis	Gemeinden
Jochberg/ Walchensee	m	500-1.000	800-1.600	Bad Tölz- Wolfratshausen	Kochel am See, Jachenau
Jochberg/ Kochelsee	n	< 500	< 800	Bad Tölz- Wolfratshausen	Kochel am See, Jachenau
Mitterberg/ Walchensee	o	500-1.000	800-1.600	Bad Tölz- Wolfratshausen	Jachenau
Sylvenstein	q	500-1.000	800-1.600	Bad Tölz- Wolfratshausen	Jachenau, Lengries
Summe		~2.000 – 3.500	3.200 - 5.600		

Dem theoretisch großen Potenzial zur Pumpspeicherung in der Region stehen allerdings auch gesellschaftliche, ökologische und ökonomische Argumente gegenüber. Die massiven Proteste (z. B. Aktionsbündnis „Nochberg“) gegen das von der Energieallianz Bayern initiierte PSW-Projekt auf dem Jochberg haben die erheblichen Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung gegenüber derartigen Landschaftseingriffen deutlich offenbart (DIRK 2013). Das vorläufige Scheitern des PSW-Projekts von Seiten der Staatsregierung wurde damit begründet, dass derzeit kein tragfähiges Geschäftsmodell für das Betreiben einer solchen PSW-Anlage existiert (SCHIER UND STEPPAN 2014). Zudem verweist der Bericht zur Analyse

der Pumpspeicherpotenziale in Bayern (LFU 2014a) bei den aufgeführten „TOP-Standorten“ in der Region auf teils erhebliches Konfliktpotenzial mit natur- und wasserschutzrechtlichen Kriterien hin.

Im Rahmen der Analyse der Pumpspeicherpotenziale in Bayern wurden zusätzlich die Erweiterungsmöglichkeiten an bestehenden PSW untersucht. Die Ausbaupotenziale des in der Region befindlichen PSW Leitzach (Lkr. Miesbach) wurden jedoch als gering eingestuft. Es wird darauf verwiesen, dass der Leistungszuwachs durch Erweiterung bestehender PSW im Vergleich zur Steigerung durch den Bau neuer PSW verhältnismäßig gering ist.

6.5 Windkraft

Mit derzeit weniger als 0,1 % Anteil an der Deckung des Stromverbrauchs nimmt die Windkraft eine untergeordnete Rolle bei der regionalen Stromerzeugung ein. Dieser Wert ist vor dem Hintergrund zu betrachten, dass die Flächenrestriktionen aufgrund der großen Anzahl ausgewiesener Schutzgebietsflächen überdurchschnittlich hoch sind, viele Gebietsteile aufgrund des geringen Windaufkommens für eine wirtschaftliche Nutzung der Windenergie nicht geeignet sind und die Akzeptanz gegenüber Eingriffen in das Landschaftsbild in vielen Bevölkerungsschichten vielfach nicht gegeben ist. Nichtsdestoweniger weisen einige Gebiete in der Region „Energiewende Oberland“ ein erhebliches Windkraftpotenzial auf. Vorteile der Windenergie gegenüber anderen regenerativen Energien sind insbesondere der geringere Flächenverbrauch sowie geringe Energierücklaufzeiten - also die Zeitspanne, die benötigt wird um durch den Betrieb der Anlage diejenige Energiemenge zu produzieren, die für die Herstellung erforderlich war (GÜNTHER 2015).

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über das naturräumliche Windenergiepotenzial in der Region „Energiewende Oberland“ und zeigt, auf welchen Flächen dieses Potenzial unter Berücksichtigung „natürlicher“ Ausschlusskriterien und rechtlicher Nutzungseinschränkungen grundsätzlich nutzbar ist.

6.5.1 Überblick über Windverhältnisse in der Region

Prinzipiell sind die Windverhältnisse und damit das Windkraftpotenzial in der Region aufgrund der ausgeprägten Topographie sehr inhomogen. Gute Windverhältnisse sind allerdings nicht alleine durch die Topographie in der Region bestimmt, sondern hängen auch stark vom Grad der Bewaldung oder den lokalen Windverhältnissen ab.

Abbildung 6-15 zeigt exemplarisch die mittleren Windgeschwindigkeiten in 160 m Höhe in der Region „Energiewende Oberland“. Die vom BAYSTMWi (2014a; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie) zur Verfügung gestellten Simulationsergebnisse basieren auf detaillierten Windmessungen und repräsentieren die mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten (1981-2010) in dieser Höhe. Die räumliche Auflösung der Darstellungen beträgt 100 m. Im Süden der Region treten hohe Windgeschwindigkeiten vor allem in den windexponierten Gipfellagen der Kocheler Berge sowie des Mangfall- und Ammergebirges auf (siehe Abbildung 6-15). Weiter nördlich

sind hohe Windgeschwindigkeiten insbesondere westlich von Schongau, entlang des Hohen Peißenbergs sowie an den nördlichen Rändern der Landkreise Bad Tölz-Wolfratshausen und Miesbach anzutreffen. Zusätzlich zeigt sich, dass die mittleren Windgeschwindigkeiten in 160 m Höhe über Grund im Durchschnitt um etwa 0,5 m/s höher sind als in 100 m (für eine umfassende Darstellung der Windverhältnisse in verschiedenen Höhenlagen siehe Anhang A. 2 bis A. 4).

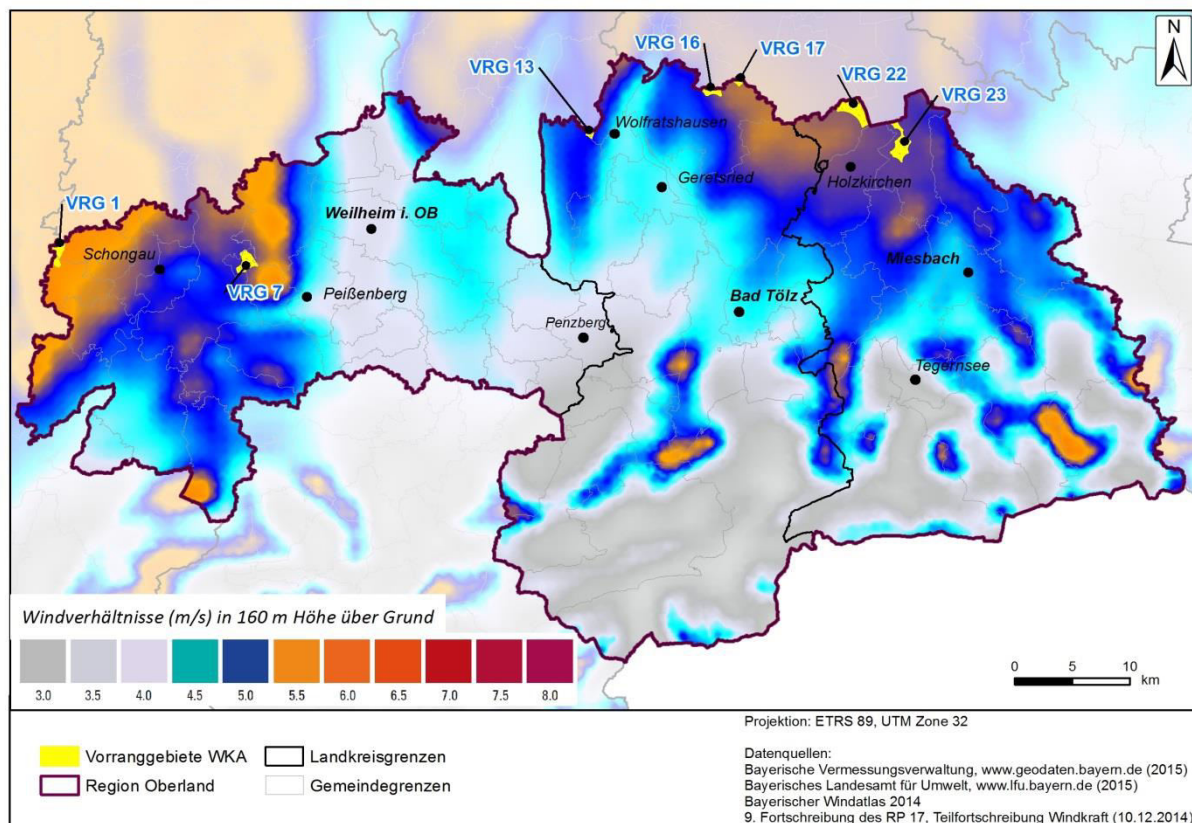


Abbildung 6-15: Mittlere Windgeschwindigkeiten in 160 m Höhe (1980-2010) über Grund und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA).

6.5.2 Das natürliche Windkraftpotenzial der Region

Allein anhand der mittleren Windgeschwindigkeiten ist es schwierig, Aussagen über das Windkraftpotenzial zu treffen, da für den Betrieb einer Windkraftanlage (WKA) vor allem die Verteilung der Windgeschwindigkeiten über das Jahr hinweg entscheidend ist. Einen guten Anhaltspunkt geben die Energieertragskarten des bayerischen Windatlas (BAYSTMWi 2014a), in denen Energiepotenziale unter anderem in Form von zu erwartenden Volllaststunden dargestellt sind. Als Volllaststunden bezeichnet man die durchschnittliche Anzahl an Stunden pro Jahr in denen eine WKA mit voller Leistung betrieben werden kann. Die Berechnung der Volllaststunden erfolgte auf Basis der Häufigkeitsverteilung bestimmter Windgeschwindigkeitsklassen. Als mathematische Annäherung wurde die sogenannte Weibull-Verteilung verwendet. Die angegebenen Volllaststunden beziehen sich dabei auf eine synthetische WKA, die für schwachwindige Standorte geeignet ist (siehe Leistungskennkurve in Anhang A. 8). Anhand der Volllaststunden lässt sich somit ebenfalls der Auslastungsgrad einer WKA bestimmen. Die Berechnungsgrundlage der durchgeführten Abschätzung ist eine für bayerische Verhältnisse typische

WKA für Schwachwindstandorte mit einer Leistung von 2 MW (siehe Anhang A. 8). Als Orientierungswert kann die durchschnittliche Volllaststundenanzahl deutscher Windkraftanlagen von 1.500 Stunden pro Jahr herangezogen werden (BERKHOUT et al. 2014).

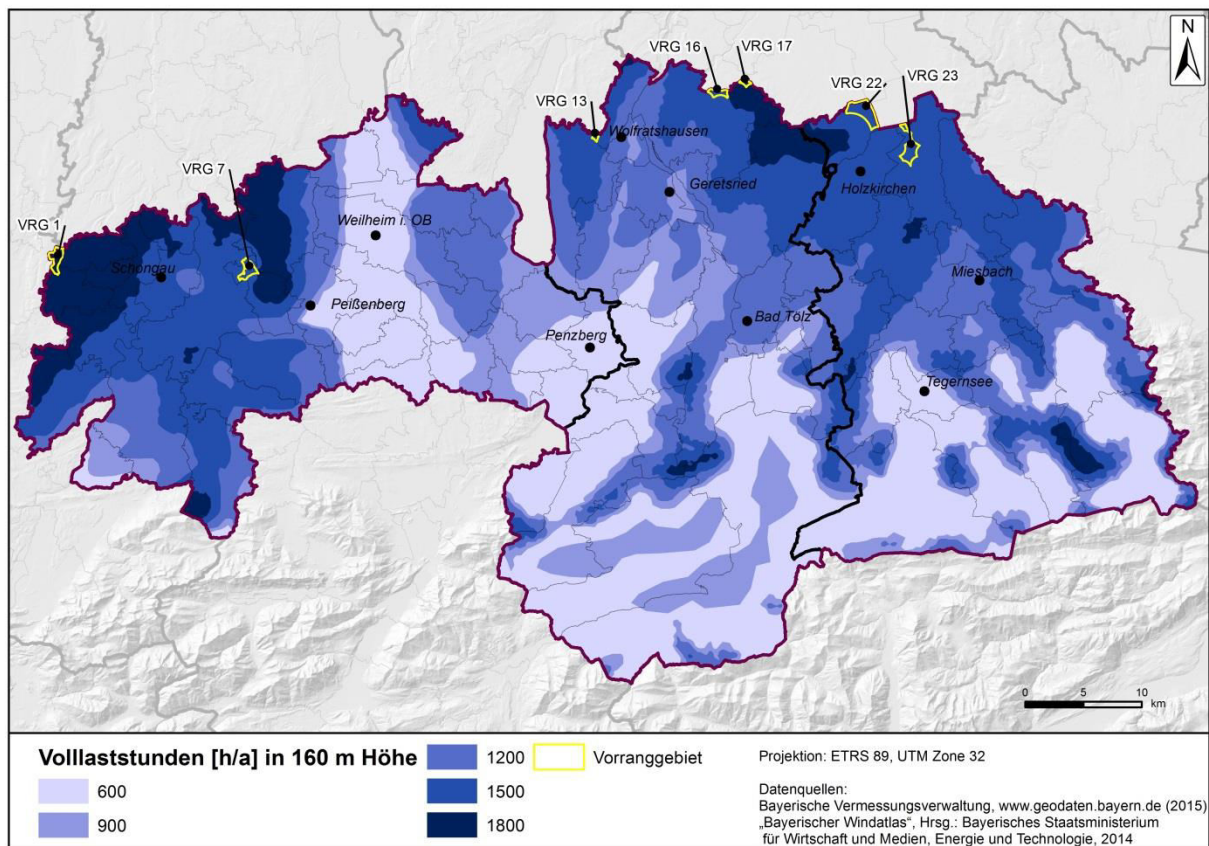


Abbildung 6-16: Abschätzung der Volllaststunden einer 2-MW-WKA in 160 m Höhe über Grund und Lage der Voranggebiete (VRG). Angegeben sind die Mittelwerte der Volllaststundenbereiche 450-750, >750-1050, >1050-1350, >1350-1650 und >1650-1950.

Die durchschnittlich zu erwartende Volllaststundenanzahl für eine solche Anlage in der Region in 160 m Höhe über Grund ist in Abbildung 6-16 dargestellt. Dabei ergeben sich in der Region erhebliche Unterschiede was die räumliche Ausprägung der Volllaststunden angeht. Das räumliche Muster entspricht dabei im Wesentlichen dem der mittleren Windgeschwindigkeit (siehe Abbildung 6-15), jedoch mit vereinzelt kleinräumigen Abweichungen (vgl. Abbildung 6-15 und Abbildung 6-16). Ein hohes Windkraftpotenzial (um 1.800 h/a) ergibt sich insbesondere für die windzugewandten Bereiche des Hohen Peißenbergs, einem Gebiet westlich von Schongau sowie für die nordöstlichen Bereiche des Landkreises Bad Tölz-Wolfratshausen. Darüber hinaus besteht ein theoretisch hohes Windkraftpotenzial in den zahlreichen Gipfellagen der Voralpenregion.

Insgesamt ergibt sich für die Gebietsfläche folgende prozentuale Verteilung (Abbildung 6-17) der in Abbildung 6-16 dargestellten Volllaststundenbereiche: In der Region am häufigsten vorzufinden sind Flächen, auf denen durchschnittlich um 600 h/a (= 29 % der Gebietsfläche) zu erwarten sind, gefolgt von Bereichen um 1.500 h/a (24 %), 1.200 h/a (24 %) und 900 h/a (17 %). Überdurchschnittliche Voll-

laststunden im Bereich um 1.800 h/a in 160 m Höhe über Grund können dagegen nur auf 6 % der Gebietsfläche erwartet werden. Was die Windverhältnisse und deren Verteilung über das Jahr angeht, ergeben sich somit für die Region sowohl großräumige „Gunst“- als auch „Ungunst“-Bereiche für das Errichten von Windkraftanlagen.

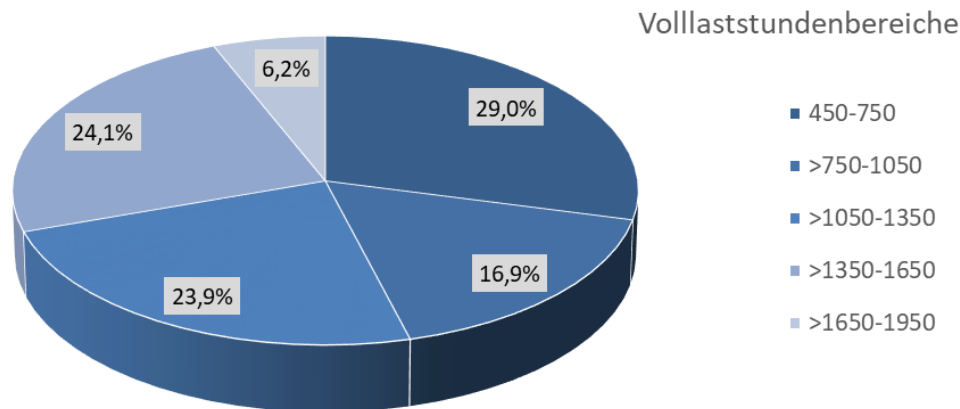


Abbildung 6-17: Prozentuale Verteilung der verschiedenen Volllaststundenbereiche auf den Flächen der Region „Energiewende Oberland“.

6.5.3 Identifizierung geeigneter Flächen für Windenergieanlagen

Aufgrund natürlicher und anthropogener Gegebenheiten (z. B. Gewässer- und Siedlungsflächen) sowie zahlreicher gesetzlicher Vorschriften ist das Errichten von WKA nur auf bestimmten Flächen möglich. Die Identifizierung dieser Flächen erfolgte durch eine GIS-basierte Analyse. Innerhalb dieser Analyse wurden alle Siedlungs-, Infrastruktur- und Gewässerflächen als Ausschlussflächen identifiziert, sowie all diejenigen Flächen bestimmt, auf denen das Errichten von WKAs aufgrund naturschutzrechtlicher oder wasserwirtschaftlicher Bestimmungen ausgeschlossen ist. Dabei wurden ebenfalls immissionschutzrechtliche bzw. baurechtliche definierte Mindestabstände berücksichtigt. Die Auswirkungen des Regionalplans der Planungsregion 17 (RP17) und der 10-H-Regel werden gesondert in den Kapiteln 6.5.4 und 6.5.5 behandelt. Ferner wurden diejenigen Flächen bestimmt, auf denen das Errichten einer WKA prinzipiell möglich ist, wo naturschutzrechtliche Einschränkungen aber eine Einzelfallentscheidung erfordern. Sie werden in dieser Studie ebenfalls als geeignet betrachtet, da eine Einzelfallentscheidung in der Regel ohnehin immer notwendig ist. Eine Übersicht der Datensätze und Abstände, die für die Berechnung der Gebietskulisse „Energiewende Oberland“ herangezogen wurden, kann im Anhang A.1 nachvollzogen werden.

Das Ergebnis der Gebietsanalyse ist in Abbildung 6-18 dargestellt. Insgesamt können knapp 10 % der Regionsfläche als potenziell geeignet eingestuft werden. 90 % der Regionsfläche stehen dem zu Folge nach Berücksichtigung aller „harten“ Ausschlusskriterien nicht zur Windkraftnutzung zu Verfügung. Bei der Analyse nicht berücksichtigt wurden die wirtschaftliche Rentabilität für das Betreiben einer WKA sowie die Erschließbarkeit der jeweiligen Standorte. Welches Windkraftpotenzial theoretisch auf die-

sen identifizierten Flächen besteht, ist wie folgt dargestellt. GIS-basiert wurde hierfür zunächst die Anlagenanzahl ermittelt, die sich theoretisch gesehen auf diesen Flächen platzieren ließe. Als Abstand zwischen WKAs wurde als gängiger Wert aus der Praxis der 5-fache Rotordurchmesser in Hauptwindrichtung angenommen (LÜTKEHUS et al. 2013). Der bei der Analyse herangezogene Anlagenrotordurchmesser beträgt 100 m. Der radiale Anlagenabstand beträgt somit vereinfacht 500 m, da die Windrichtung bei der Analyse nicht berücksichtigt wurde. Als Anlagentyp wurde eine 3 MW-Schwachwindanlage gewählt, die bereits in unmittelbarer Nähe zur Region mehrfach Anwendung gefunden hat. Die WKAs auf den geeigneten Flächen wurden anschließend mit den entsprechenden Volllaststunden an den expliziten Standorten verschnitten. Die Potenziale sind in Tabelle 6-6 dargestellt. Für die gesamte Region ergibt sich in Summe ein Potential von 4.878 GWh Strom pro Jahr. Die Landkreise Bad Tölz-Wolfratshausen und Weilheim-Schongau haben dabei bei Weitem das größte Potential mit 1.973 GWh/a (Weilheim-Schongau) und 2.259 GWh/a (Bad Tölz-Wolfratshausen), wobei die Flächenzusammensetzung beider Landkreise sehr unterschiedlich ist. Der Landkreis Miesbach kommt in etwa auf ein Potential von 643 GWh/a, hier wirken sich vor allem die vielen Schutzgebietsflächen auf das vorhandene Potential aus.

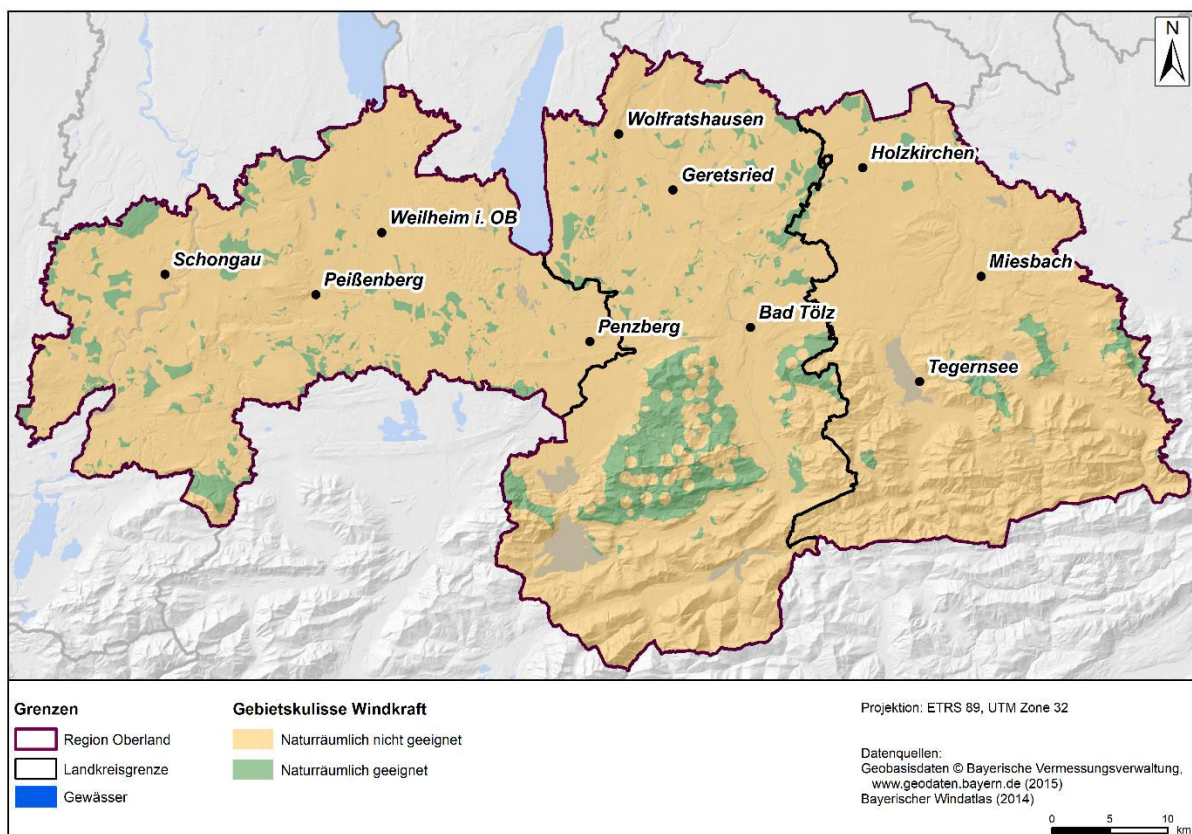


Abbildung 6-18: Räumliche Darstellung der Gebietskulisse Windkraft der Region „Energiewende Oberland“ nach rein naturräumlichen Gesichtspunkten.

Tabelle 6-7: Naturräumliches Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“

Lkr./Region	Verfügbare Fläche [ha]	Potentielle Anzahl an WKAs	Potentieller Stromertrag [GWh/a]
Bad Tölz-Wolfratshausen	16.217	486	1.973
Miesbach	3.606	164	643
Weilheim-Schongau	9.311	710	2.259
EWO	29.134	1.361	4.878

6.5.4 Auswirkungen der 10H-Regelung

Seit dem 17.11.2014 gilt für den Neubau von WKA innerhalb Bayerns die sogenannte 10H-Regelung als Bestimmung der Bayerischen Landesbauordnung und wurde im Mai 2016 nochmals durch den Bayerischen Verfassungsgerichtshof bestätigt. Das Gesetz schreibt für den Neubau von Windrädern einen Mindestabstand vom Zehnfachen der Anlagenhöhe zur nächstgelegenen Wohnbebauung vor. Für ein modernes Windrad mit einer Gesamthöhe von 149 m bedeutet dies einen Mindestabstand von knapp 1,5 Kilometern zum nächstgelegenen Wohngebiet. Geringere Abstände sind allerdings im Einvernehmen innerhalb der Gemeinde sowie der betroffenen Nachbarkommunen möglich (nach Art. 82 Abs. 5 BayBO), weshalb die Auswirkungen der 10H-Regel für die Region in diesem Kapitel gesondert dargestellt werden. Der durch die 10H-Regel entstehende Verlust an eigentlich geeigneten Flächen beläuft sich dabei auf ca. 104 km² und ist in Abbildung 6-19 dargestellt. Damit reduziert sich die Fläche, auf der das Errichten neuer Windanlagen grundsätzlich möglich ist auf 6 % der Gebietsfläche. Dabei fallen insbesondere all diejenigen Flächen weg, die sich außerhalb der südlich gelegenen und tendenziell schwierig zu erschließenden Gebirgsregionen befinden.

Tabelle 6-8: Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“ unter Berücksichtigung der 10H-Regelung.

Lkr./Region	Verfügbare Fläche [ha]	Potentielle Anzahl an WKAs	Potentieller Stromertrag [GWh/a]
Bad Tölz-Wolfratshausen	12.308	508	1.607
Miesbach	8.894	118	455
Weilheim-Schongau	5.258	340	1.385
EWO	26.461	966	3.447

6.5.5 Regelungen im Regionalplan 17

Die Nutzungsmöglichkeiten des zuvor dargestellten Windkraftpotenzials in der Region „Energiewende Oberland“ sind durch regionalplanerische Vorgaben konkretisiert. Die regionalplanerische Möglichkeit zur Ausweisung von Vorranggebieten (VRG) für WKAs wurde in der Region Oberland durch die Teilfortschreibung „Windkraft“ des Regionalplans 17 (RP17) realisiert. Mit der Ausweisung von Vorrang- und

Vorbehaltsgebieten für Windkraft in den Regionalplänen eröffnet der Gesetzgeber den regionalen Planungsverbänden die Möglichkeit, in einer planerischen Vorstufe zur Genehmigung die Errichtung von WKAs in den Räumen zu steuern (§ 35 Abs. 3 Satz 3 BauGB). Die 9. Fortschreibung des RP17 wurde im Planungsausschuss der Region Oberland am 22.04.2015 beschlossen (Inkrafttreten am 17.10.2015). Insgesamt beinhaltet die in der Teilfortschreibung ausgewählte Planungsvariante sieben VRG zur Windkraftnutzung mit Flächen von jeweils mindestens 20 ha. Zusammen umfassen die VRG ca. 963 ha, was einem Anteil von 0,24 % der Regionsfläche entspricht. Darüber hinaus existieren regionalplanerisch nicht berücksichtigte Gebiete – sogenannte „weiße Flächen“ – die weder als Vorrang- noch als Ausschlussgebiete für Windkraft definiert sind. Entsprechend der aktuellen Planungen umfassen „weiße Flächen“ rund 847 ha (0,21 % der Regionsfläche). Die verbleibenden 99,5 % der Gebietsfläche werden im RP17 als Ausschlussgebiete deklariert (siehe Abbildung 6-19), sodass das in Kapitel 6.5.3 ermittelte Potenzial dadurch gravierend reduziert wird. Auf den noch verbleibenden Flächen ließe sich aus 56 Anlagen Energie in der Größenordnung von 247 GWh/a erzeugen, was in etwa 11 % des Gesamtstromverbrauchs in der Region entspricht (siehe Tabelle 6-9).

Tabelle 6-9: Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“ unter Berücksichtigung der Regelungen des Regionalplans 17.

Lkr./Region	Verfügbare Fläche [ha]	Potentielle Anzahl an WKAs	Potentieller Stromertrag [GWh/a]
Bad Tölz-Wolfratshausen	285	11	43
Miesbach	562	22	99
Weilheim-Schongau	963	23	104
EWO	1.810	56	247

Der Großteil dieser Flächen ist allerdings durch die 10H-Regelung (siehe Kapitel 6.5.4) betroffen. Berücksichtigt man beide Regelungen, so beläuft sich das noch verbleibende Potential auf etwa 34 Anlagen auf einer Fläche von 1.187 ha, die einen jährlichen Energieertrag von etwa 149 GWh/a erbringen könnten (siehe Tabelle 6-10). Somit können auf den gem. RP17 möglichen Flächen aufgrund der 10H-Regel nach aktuellem Stand der Technik lediglich 3 % des naturräumlich vorhandenen Potenzials genutzt werden, was nur noch etwa 7 % des gesamten EWO-Stromverbrauchs entspricht. Die potentielle Fläche zur Errichtung von WKA beträgt dann nur noch etwa 0,4 % der gesamten Gebietsfläche (siehe Abbildung 6-19).

Tabelle 6-10: Windkraftpotenzial innerhalb der Region „Energiewende Oberland“ unter Berücksichtigung der 10H-Regelung sowie der Regelungen des Regionalplans 17.

Lkr./Region	Verfügbare Fläche [ha]	Potentielle Anzahl an WKAs	Potentieller Stromertrag [GWh/a]
Bad Tölz-Wolfratshausen	122	5	18
Miesbach	370	16	72
Weilheim-Schongau	695	13	59
EWO	1.187	34	149

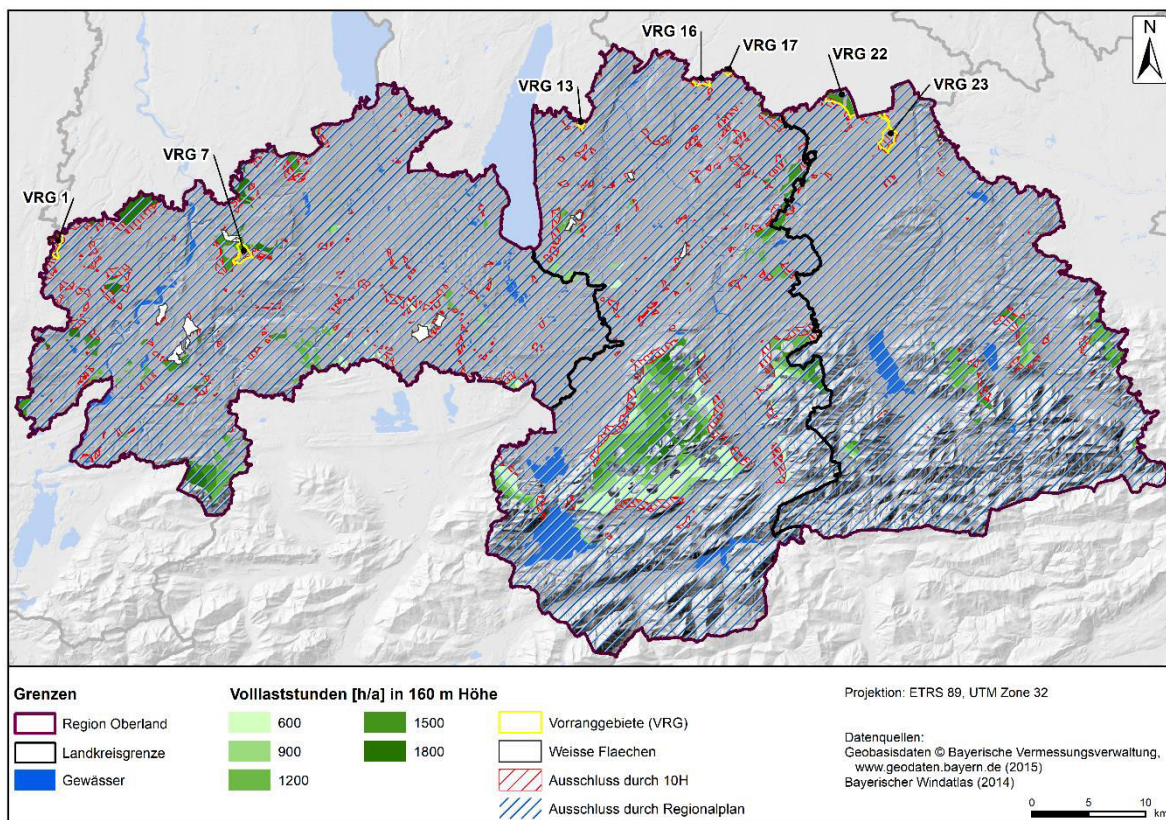


Abbildung 6-19: Auswirkungen des Regionalplans und der 10H-Regelung auf das Potential für Windkraft. Grüne Flächen zeigen die potenziell geeigneten Flächen, blau schraffiert ist das Ausschlussgebiet des RP17, rot schraffiert die Bereiche, die durch die 10H-Regelung ausgeschlossen werden. Die weiß und gelb eingefärbten Flächen stellen die Weißen Flächen bzw. VRG gem. RP17 dar.

6.5.6 Zusammenfassung Windkraft

In Abbildung 6-20 sind die ungenutzten Potenziale aus den Kapiteln 6.5.2 bis 6.5.5 zusammengefasst. In Summe beläuft sich das naturräumliche Potenzial auf 4.874 GWh/a. Unter Berücksichtigung der 10H-Regelung könnten bis zu 3.447 GWh jährlich produziert werden. Die massiven Einschränkungen des Regionalplans führen zu einer Verringerung dieses Potentials auf 247 GWh/a bei Nichtbeachtung

der 10H-Regelung sowie 149 GWh/a bei deren Berücksichtigung. Aus naturräumlicher Sicht sind insbesondere die Landkreise Bad-Tölz-Wolfratshausen und Weilheim-Schongau begünstigt, Miesbach weist aufgrund der deutlich höheren Schutzgebietsflächen ein geringeres Potential auf.

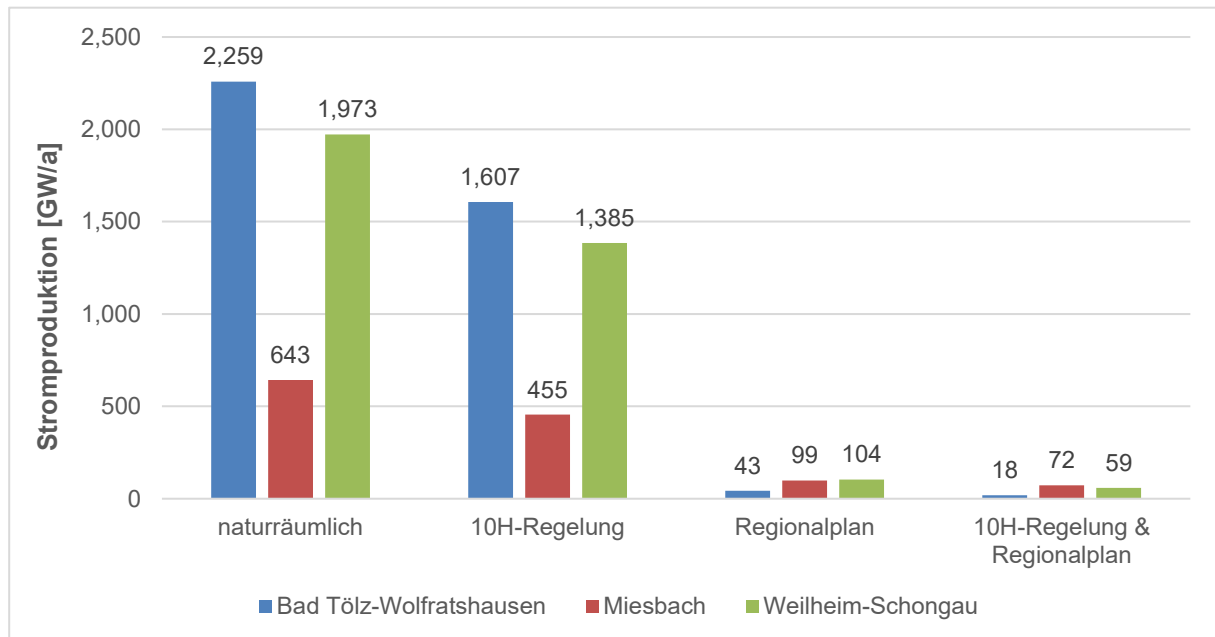


Abbildung 6-20: Potenziale der Stromerzeugung durch Windkraft unter Berücksichtigung verschiedener rechtlicher Rahmenbedingungen

6.6 Biomassenpotenziale zur energetischen Nutzung

Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse unterliegen nicht den üblichen Schwankungen wie bei Wind-, Wasser- und Sonnenenergie. Die energetische Nutzung von Biomasse kann demzufolge bei intelligentem Einsatz einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Stromversorgung durch Erneuerbare Energien leisten. Der Flächenverbrauch pro erzeugter Einheit Energie ist bei Biomasse allerdings deutlich höher als bei allen anderen Erneuerbaren Energien. Zudem bergen die konkurrierenden Nutzungsansprüche zwischen Nahrungsmittel-, Futtermittel- und Energiepflanzenanbau ein Konfliktpotenzial, welches es zu berücksichtigen gilt (BMEL 2014).

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Nutzungsmöglichkeiten und Potenziale der energetischen Biomassenutzung in der Region „Energiewende Oberland“. Damit soll eine Informationsgrundlage dafür gelegt werden, welchen Beitrag die Biomassenutzung in einer allein durch Erneuerbare Energien sichergestellten Energieversorgung bis 2035 potenziell in der Region leisten könnte.

6.6.1 Landwirtschaftliche Biomassenpotenziale

6.6.1.1 Biomassenpotenzial Mais

Mais ist derzeit die am häufigsten angebaute Energiepflanze für den Einsatz in Biogasanlagen. Zurückzuführen ist dies auf den sehr effizienten Umsetzungsprozess von Wasser, Nährstoffen und Sonnenlicht zur Produktion von Biomasse sowie der verhältnismäßig einfachen Erntbarkeit und der guten Vergärbarkeit in Biogasanlagen.

Zwar ist die Region „Energiewende Oberland“ aufgrund der klimatischen Voraussetzungen am Alpenrand ein für den Maisanbau nur bedingt geeignetes Gebiet, nichtsdestoweniger beträgt der Grün-/Silomaisanteil an den Ackerflächen im Regionsdurchschnitt (Agrarstrukturhebungen 1999-2007) 34 % bzw. 2.520 ha (BAYLFSTAD 2015e). Dabei ist zu beachten, dass der Ackerbauanteil an den landwirtschaftlichen Flächen in der Region bei lediglich 7,6 % liegt (BAYLFSTAD 2015e). Der durchschnittliche Hektarertrag (2006-2015) für Grün-/Silomais beläuft sich in der Region laut Ernte- und Betriebsberichterstattung (BAYLFSTAD 2015e) auf 47,05 t/ha (bay. Durchschnitt: 50 t/ha). Demnach ergibt sich unter derzeitigen Anbaubedingungen ein theoretisches zur energetischen Verwendung nutzbares Maisbiomassenpotenzial von 180.336 t/a innerhalb der Region (siehe Tabelle 6-11).

Tabelle 6-11: Das unter derzeitigen Anbaubedingungen vorhandene Maisbiomassenpotenzial für die Region „Energiewende Oberland“, welches theoretisch zur Wärme-bzw. Stromproduktion zur Verfügung steht (BAYLFSTAD 2015a)

Lkr./Region	Hektarertrag (Ø 2006-2015) für Grünmais/ Silomais [t/ha]	Anteil [%] Hektarertrag am gewichteten arith- metischen Mittel	Grün-/Silomaisfläche nach Landwirtschafts- zählung 2010 [ha]	Ertrag [t/a]
Weilheim-Schongau	50	56	2.131	106.844
Miesbach	48	18	687	32.799
Bad-Tölz Wolfratshausen	40	26	1.015	40.693
„Energiewende Oberland“ (Σ bzw. gewichteter Ø)	47		3.833	180.336

Aufgrund der erheblichen relief- und klimabedingten Unterschiede zwischen den Landkreisen für den Acker- bzw. Maisanbau verteilt sich das dargestellte Potenzial allerdings in hohem Maße ungleichmäßig. Mit durchschnittlich 106.844 t/a wird im Landkreis Weilheim-Schongau mehr als doppelt so viel Maisbiomasse geerntet als in den Landkreisen Miesbach (32.799 t/a) und Bad Tölz-Wolfratshausen (40.693t/a) zusammen. Ein Großteil der Grünmais- bzw. Silomaisernte dient dabei derzeit als Futtermittel für die Herstellung von tierischen Erzeugnissen wie Milch, Fleisch und Eier (BMEL 2014). Theoretisch gesehen stünde diese Ertragsmenge auch zur Wärme- und Stromproduktion zur Verfügung. Der

sich daraus unmittelbar ergebende Nutzungskonflikt zwischen Futtermittelproduktion und Energieproduktion stellt ein gesellschaftliches, wirtschaftliches und letztendlich auch ein politisches Thema dar und bedarf besonderer Abwägung.

Den höchsten Energieertrag unter den Energiepflanzen besitzen C4-Pflanzen, dazu zählen Mais, Amaranth, Hirse, Zuckerrohr und Chinaschilf. Pro Tonne Frischmasse (FM) lassen sich im Schnitt 215 m³ (BAYSTMUUV et al. 2011) Biogas erzeugen. Mit einem Heizwert des Biogases von 6kWh/m³ (Methan 60 Vol.-%) ergibt sich daraus gemäß Tabelle 6-12 ein theoretischer Energieertrag von 232,6 GWh pro Jahr. Mit einem mittleren Gesamtwirkungsgrad von 83 % (elektrisch 38 %, thermisch 45 % (BAYSTMUUV et al. 2011)) und abzüglich des thermischen Eigenverbrauchs (25 %) von Biogasanlagen können daraus 87 GWh_{el}/a Strom und 104 GWh_{therm}/a Wärme erzeugt werden. Unter Berücksichtigung des derzeit bereits zur Energieerzeugung genutzten Anteils beträgt das Strom- und Wärmeerzeugungspotenzial aus Maissilage 50 GWh_{el}/a und 81 GWh_{therm}/a.

Tabelle 6-12 Potentieller Energieertrag für Strom und Wärme in Biogasanlagen aus Maissilage in der Region Oberland.

Lkr./Region	Biogasertrag [Mio. m ³]	Energiegehalt [GWh/a]	gesamter Stromertrag [GWh _{el} /a]	gesamter Wärmeertrag [GWh _{therm} /a]	ungenutzter Stromertrag [GWh _{el} /a]	ungenutzter Wär- meertrag [GWh _{therm} /a]
WM	23	138	52	61	31	49
MB	7	42	16	19	9	15
TÖL	9	53	20	23	10	17
EWO	39	233	87	104	50	81

6.6.1.2 Grünland als Biogassubstrat

Zwar ist Silomais das derzeit am besten geeignete Substrat für Biogasanlagen, allerdings sind Grünlandssubstrate für Biogasanlagen ebenfalls geeignet. Substrat für Biogasanlagen muss also nicht zwangsläufig ackerbaulich erzeugt werden.

In der Region „Energiewende Oberland“ werden etwa 92 % der landwirtschaftlichen Fläche als Dauergrünland genutzt. HARTMANN et al. (2011) prognostizieren, dass aufgrund rückläufiger Viehbestände mittelfristig etwa 15-20 % des Grünlandes in Bayern nicht mehr zur Futtergewinnung für Raufutterfresser benötigt werden. Dieser Trend zeigt sich auch an den Viehbeständen der Region Oberland. Hier hat sich die Anzahl der Milchkühe zwischen den Jahren 1975 und 2016 von 85.462 um rund 17 % auf 70.952 Milchkühe reduziert bei weitgehend konstanter Milcherzeugung (BAYLFSTAD 2015f). Die entsprechende Produktivitätssteigerung kann auf Züchtungsfortschritte und technische Innovationen zurückgeführt werden. Eine alternative Nutzungsmöglichkeit der vorhandenen Grünlandflächen ist die Substratbereitstellung für Biogasanlagen. Das unter derzeitigen Anbaubedingungen vorhandene Biomassenpotenzial auf den Grünlandflächen der Region „Energiewende Oberland“ für Wärme- oder

Stromproduktion beläuft sich auf etwa 767.159t pro Jahr (siehe Tabelle 6-13). Aufgrund deutlicher Unterschiede bei den durchschnittlichen Hektarerträgen und den bewirtschafteten Dauergrünlandflächen zwischen den Landkreisen verteilt sich dieses Potenzial relativ ungleich auf die Landkreise. Am meisten Grünlandbiomasse steht im Landkreis Weilheim-Schongau zur Verfügung (352.598t/a), gefolgt von Bad Tölz-Wolfratshausen (245.996t/a) und Miesbach (168.565t/a).

Tabelle 6-13: Das unter derzeitigen Anbaubedingungen vorhandene Biomassenpotenzial aus der Dauergrünlandnutzung in der Region „Energiewende Oberland“, welches theoretisch zur Wärme- bzw. Stromproduktion zur Verfügung steht (BAYLFSTAD 2015a).

Lkr./Region	Hektarertrag (Ø 2006-2015) für Wiesen- schnittnutzung [t/ha]	Anteile [%] Hektarertrag am gewichteten arithmeti- schen Mittel	Dauergrünlandfläche nach Landwirtschaftszählung 2010 [ha]	Ertragspotenzial [t/a]
Weilheim-Schongau	8	45	42.791	352.598
Miesbach	7	25	23.765	168.565
Bad-Tölz Wolfratshausen	9	29	27.746	245.996
„Energiewende Oberland“ (Σ bzw. gewichteter Ø)	8		94.302	767.159

Im Vergleich zur Maissilage sind Biogasausbeuten aus Substraten von Grünlandflächen allerdings deutlich geringer (BAYLFL 2015). Daten zu Gasausbeuten und Methangehalten von ca. 350 Substraten können über die Datenbank „Biogasausbeuten“ der Landesanstalt für Landwirtschaft abgerufen werden (BAYLFL 2015).

Tabelle 6-14 Potentieller Energieertrag für Strom und Wärme in Biogasanlagen aus Grassilage in der Region Oberland.

Lkr./Region	Biogasertrag [Mio. m³]	Energiegehalt [GWh/a]	gesamter Stromertrag [GWh _{el} /a]	gesamter Wär- meertrag [GWh _{therm} /a]	ungenutzter Stromertrag [GWh _{el} /a]	ungenutzter Wärmeertrag [GWh _{therm} /a]
Weilheim-Schongau	63	410	154	183	128	152
Miesbach	31	228	85	101	71	84
Bad-Tölz Wolfratshausen	46	266	100	118	83	99
„Energiewende Oberland“	140	904	399	402	282	335

Pro Tonne Frischmasse (FM) lassen sich im Schnitt 185 m³ Biogas erzeugen (BAYStMUV et al. 2011). Mit einem Heizwert des Biogas von 6 kWh/m³ (Methan 60 Vol.-%) ergibt sich daraus gemäß Tabelle 6-14 ein theoretischer Energieertrag von 904 GWh pro Jahr. Mit einem mittleren Gesamtwirkungsgrad von 83 % (elektrisch 38%, thermisch 45 % (BAYStMUV et al. 2011)) und abzüglich des thermischen Eigenverbrauchs (25 %) von Biogasanlagen können somit 339 GWh_{el}/a Strom und 402 GWh_{therm}/a Wärme erzeugt werden. Unter Berücksichtigung des derzeit bereits zur Energieerzeugung genutzten Anteils

beträgt das Potenzial zur Strom- und Wärmeerzeugung aus Frischmasse $282 \text{ GWh}_{\text{el}}/\text{a}$ und $335 \text{ GWh}_{\text{therm}}/\text{a}$.

6.6.2 Alternativen für die Landwirtschaft im Energiepflanzenanbau

Zwar ist Energiemais aufgrund des hohen Ertragspotenzials, der guten technischen Umsetzbarkeit von Anbau und Ernte sowie der guten Vergärbarkeit die derzeit am häufigsten angebaute Energiepflanze, allerdings ist der Monokulturanbau von Mais aufgrund von Bodenstrukturverschlechterungen, der Entwicklung spezifischer Unkrautfluren sowie einem erhöhten Risiko durch Krankheitsbefall zahlreichen Problemen ausgesetzt (MEYER et al. 2007). Der Anteil an Mais in der Fruchtfolge muss diesen Gegebenheiten im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft Rechnung tragen, um das Ertragspotenzial langfristig nicht zu gefährden. Insbesondere in klimatisch benachteiligten Regionen wie der Region „Energie-wende Oberland“ können daher Alternativen zum Maisanbau als Biogassubstrat in Zukunft an Bedeutung gewinnen, falls sich jene als praxistauglich darstellen. 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 im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) untersuchen seit vielen Jahren Alternativen zum Energiemais und entwickeln entsprechende Anbaukonzepte, die sich an bayerischen Standorten umsetzen lassen. Aktuelle Versuchsergebnisse können in den „Informations- und Demonstrationszentren Energiepflanzenanbau“ an zehn Standorten in Bayern besichtigt werden (<http://biogas-forum-bayern.de/energiepflanzen>). Für klimatisch benachteiligte Maisregionen könnten den ersten Anbauversuchen zufolge Zweitfruchtanbausysteme oder mehrjährige Energiepflanzenkulturen (z. B. Sida oder Riesenweizengras) attraktiv werden. Allerdings existieren bisher kaum langjährige Erfahrungen zu alternativen Energiepflanzenfruchtfolgen oder mehrjährigen Energiepflanzen, sodass hier weiterer Forschungsbedarf besteht.

6.6.3 Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen (KUP)

6.6.3.1 Pappel-KUP Hektarerträge

Der Anbau von schnellwachsenden und stockausschlagfähigen Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen (Kurzumtriebsplantagen; KUP) ist eine interessante Möglichkeit, in der Region erzeugtes Energieholz für eine nachhaltige Wärmeversorgung zu produzieren. Speziell für Landwirte und regionale Energieprojekte wurde durch die Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (LWF) im Rahmen des KUP Scout II Projekts (LWF 2015) ein an die bayerischen Standortverhältnisse angepasstes Ertragsmodell erstellt, durch welches gebietsspezifisch das durchschnittliche jährliche Ertragspotenzial für Pappeln im mittleren Umtrieb (5-7 Jahre) abgeschätzt werden kann.

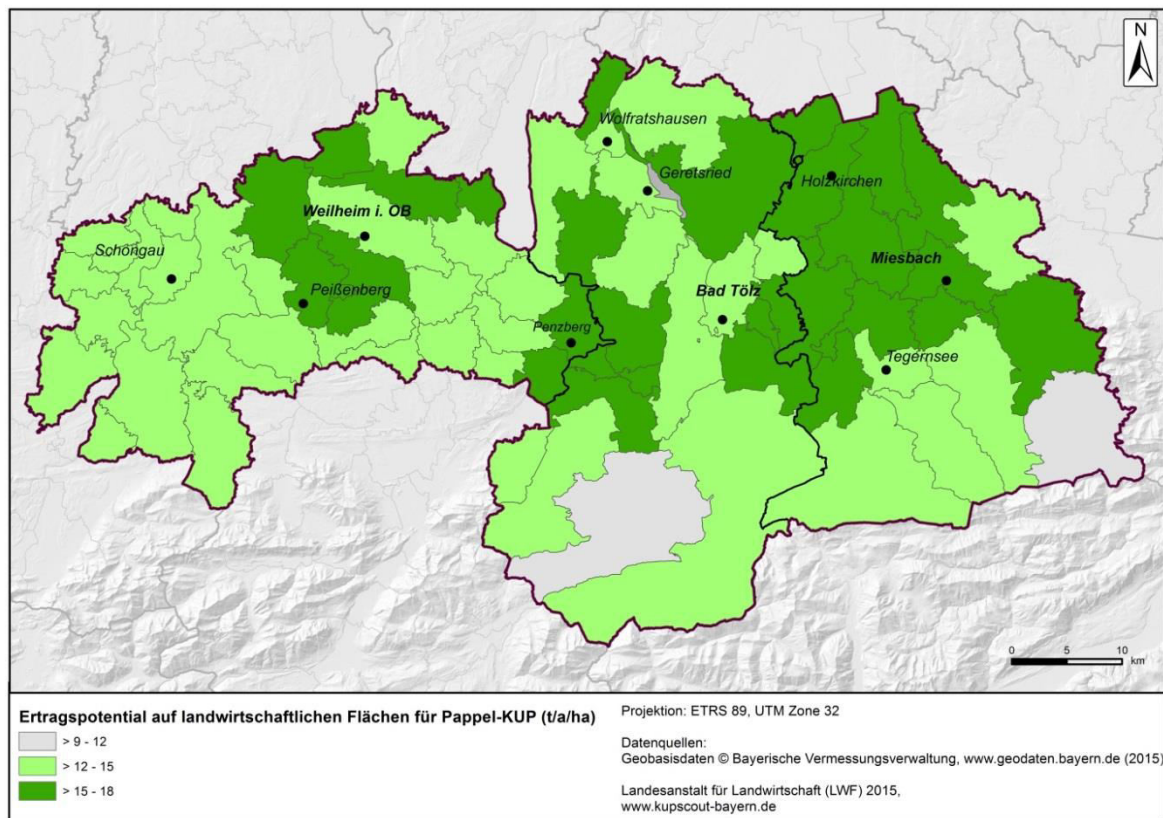


Abbildung 6-21: Langfristiges Ertragspotential von Pappel-KUP bez. auf die Trockenmasse auf allen Flächen der Nutzung „Landwirtschaft“ (AdV 2015b). Annahmen: optimale Bestandes-Etablierung, Auswahl wüchsiger Klone, geeignete Bestandes-Dichte und eine Umtriebsdauer von 5 – 7 Jahren.

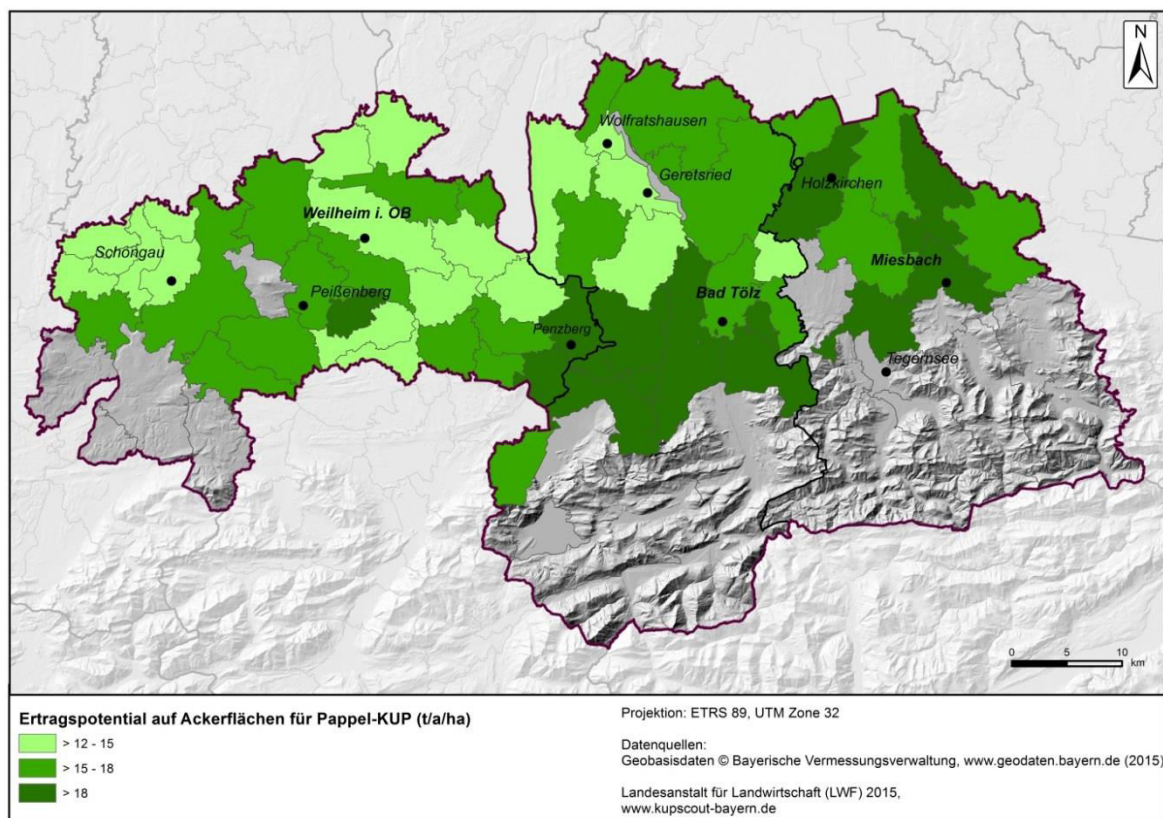


Abbildung 6-22: Langfristiges Ertragspotential von Pappel-KUP bez. auf die Trockenmasse auf allen Flächen der Nutzung „Ackerland“ (AdV 2015b). Annahmen: optimale Bestandes-Etablierung, Auswahl wüchsiger Klone, geeignete Bestandes-Dichte und eine Umtriebsdauer von 5 – 7 Jahren.

In Abbildung 6-21 ist dazu das langfristige Ertragspotenzial pro Jahr und Hektar von Pappel-KUP für Flächen der Nutzung „Landwirtschaft“ in den Gemeinden der Region dargestellt. Das langfristige Ertragspotenzial für Pappel-KUP liegt dabei im Regionsdurchschnitt pro Jahr und Hektar bei 12-15 t, wobei die minimalen Ertragspotenziale bei 9-12 t und die maximalen bei 15-18 t liegen.

Das abgeschätzte Biomassenpotenzial von Pappel-KUP für die Gemeinden der Region speziell für die Ackerflächen liegt dabei im Durchschnitt um 3 t pro Jahr und Hektar höher als das zuvor dargestellte KUP-Potenzial für die Gesamtheit der Landwirtschaftsfläche (vgl. Abbildung 6-22 mit Abbildung 6-21). Auf Ackerstandorten ergibt sich im Regionsdurchschnitt folglich ein langfristiges Ertragspotenzial für Pappel-KUP zwischen 15 und 18 t a⁻¹ ha⁻¹. Dies spielt jedoch für den Großteil der südlich gelegenen Gemeinden der Untersuchungsregion keine Rolle, da dort Ackerbau aufgrund der natürlichen Gegebenheiten (Klima, Relief) kaum praktikabel ist.

6.6.3.2 Regionale Biomassenpotenziale durch KUP

Auf Basis der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Eignungspotenziale für Pappel-KUP kann das Ertragspotenzial für die Region „Energiewende Oberland“ und Ihre Gemeinden bestimmt werden. Dabei wurde zunächst für folgende Flächen das theoretische Biomassenpotenzial durch KUP in der Region „Energiewende Oberland“ berechnet:

1. Theoretisches Potenzial auf Flächen der Nutzung „Landwirtschaft“ (Ackerland & Grünland) (AdV 2015b).
2. Theoretisches Potenzial auf Flächen der Nutzung „Ackerland“ (AdV 2015b).

Die entsprechenden Ergebnisse aufgeschlüsselt für die drei Landkreise sind in Abbildung 6-23 dargestellt. Insgesamt ergibt sich für die Region „Energiewende Oberland“ ein theoretisches Ertragspotenzial durch die Nutzung der derzeitigen Landwirtschaftsfläche für Pappel-KUP von ca. 1.594.000 t/a. Das theoretische Biomassenpotenzial auf den vorhandenen Flächen der Nutzung „Ackerland“ ist dabei aufgrund der wenigen Ackerlandflächen in der Untersuchungsregion mit 95.000 t/a relativ gering.

In der Praxis ergeben sich jedoch diverse Einschränkungen bei der Nutzung der dargestellten theoretischen Potenziale. So wird aus fachlichen Gründen von der Etablierung von KUP in zahlreichen Schutzgebietskategorien (z.B. Kernzone Biosphärenreservat, geschütztes Biotop, geschützter Landschaftsbestandteil, Vorranggebiet Hochwasserschutz, Nationalpark, Naturdenkmal, gewisse Habitate in Natura 2000-Gebieten sowie Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete) abgeraten, um die Konformität mit den Zielen der Schutzgebietskategorie zu gewährleisten. Des Weiteren ist die Anwendung hochmechanisierter Ernteverfahren meist nur bis zu einer Hangneigung von 10 % möglich. Die größten Einschränkungen ergeben sich durch das seit 2014 in Bayern bestehende Grünlandumbruchverbot (BAYSTMELF 2014). Das entsprechende verbleibende nutzbare Biomassenpotenzial auf den Ackerflächen der Region sowie die entsprechenden Potenzialverluste durch die oben aufgeführten Restriktionen sind in

Abbildung 6-24 dargestellt. Dabei kann das nutzbare Biomassenpotenzial für KUP auf Flächen der Nutzung Ackerland auf etwa 76.000 t/a beziffert werden, wobei der größte Anteil auf den Landkreis Weilheim-Schongau (43.000 t/a) entfällt. Im Vergleich dazu ist das nach den oben genannten Einschränkungen nutzbare Potenzial in den Landkreisen Bad Tölz-Wolfratshausen (23.000 t/a) und Miesbach (10.000 t/a) offensichtlich kleiner, was allerdings vorrangig auf die geringen Ackerflächenanteile in den beiden Landkreisen zurückzuführen ist.

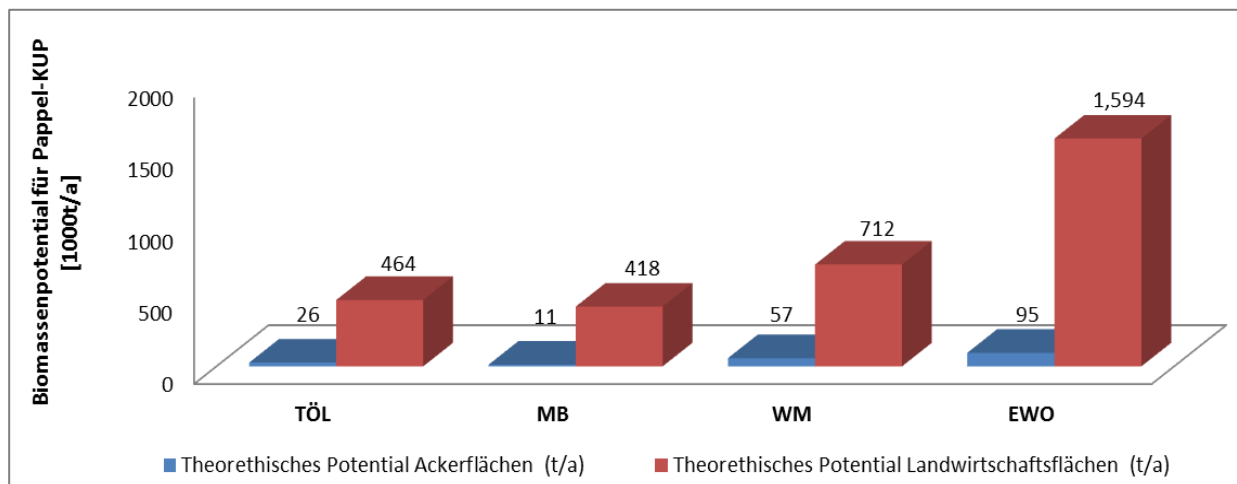


Abbildung 6-23: Langfristige Biomassenpotenziale (theoretisch) von Pappel-KUP auf Flächen der Nutzung „Ackerland“ und „Landwirtschaft“ in den Landkreisen der Region sowie der Gesamtregion „Energiewende Oberland“. Die dargestellten Daten basieren auf LWF (2015).

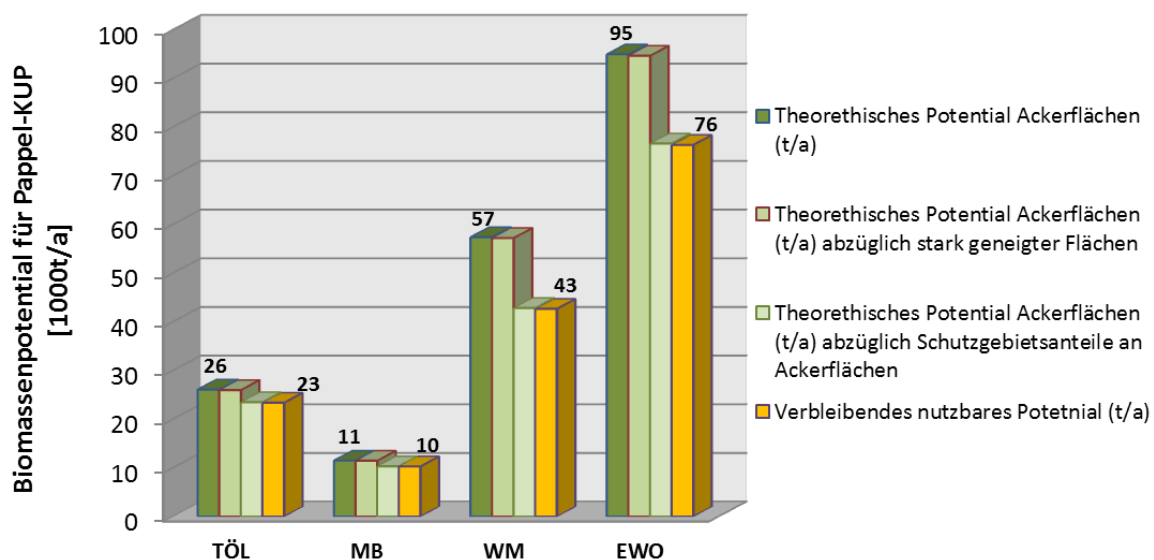


Abbildung 6-24: Darstellung der theoretischen und nach derzeitigen Rahmenbedingungen (rechtlich und technisch) nutzbaren Biomassenpotenziale in Tausend t/a für Pappel-KUP auf Flächen der Nutzung „Ackerland“ in den Landkreisen der Region sowie der Gesamtregion „Energiewende Oberland“. Die dargestellten Daten basieren auf LWF (2015).

Der Energiegehalt von Pappeln beträgt 5 kWh pro kg Trockenmasse (LWF 2014a). Daraus ergibt sich ein theoretischer Energieertrag von 382 GWh pro Jahr. Üblicherweise wird feste Biomasse zur Erzeugung von Wärme verwendet, denn Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) werden erst in

Leistungsklassen effizient, in denen die Logistik der lokalen Holzbeschaffung und Wärmeverteilung an ihre Grenzen stößt. Mit einem Jahresnutzungsgrad von 80 % bei Biomasseheizwerken (LWF 2014a) können nach Abzug des bereits genutzten Anteiles pro Jahr 288 GWh_{therm}/a an Wärme bereitgestellt werden. Den größten Anteil kann, gemäß Tabelle 6-15, der Landkreis Weilheim-Schongau mit ca. 159 GWh_{therm}/a Wärme, bereitstellen. Bad Tölz-Wolfratshausen folgt mit etwa 89 GWh_{therm}/a und Miesbach mit ca. 40 GWh_{therm}/a.

Tabelle 6-15 Heizwert und Wärmeertrags-Potenzial von mittels Kurzumtriebsplantagen (KUP) betriebenen Heizkraftwerken zur Heizwärmebereitstellung innerhalb der Region Oberland

Lkr./Region	Ertragspotenzial [1.000t/a]	Heizwert [GWh]	gesamter Wärmeertrag [GWh _{therm} /a]	Bereits genutzter Wärmeertrag (2014) [GWh _{therm} /a]	ungenutzter Wärmeertrag [GWh _{therm} /a]
Bad Tölz-Wolfratshausen	23	117	94	5	89
Miesbach	10	52	41	1	40
Weilheim-Schongau	43	213	171	11	159
„Energiewende Oberland“	76	382	306	17	288

Klarzustellen ist, dass eine maximale Nutzung der dargestellten Potenziale weder realistisch noch nachhaltig ist und in unmittelbarer Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittel- und Futtermittelproduktion steht. Sinnvoll ist der Anbau von KUP insbesondere auf Flächen mit geringer natürlicher Ertragsfähigkeit aber guter Wasserversorgung, da im Gegensatz zu traditionellen Ackerkulturen die Ertragshöhe von Pappeln stärker durch den Wasserhaushalt als durch die natürliche Bodenfruchtbarkeit gelenkt wird (LWF 2015). Die Abschätzung der Wasserversorgung durch das LWF wurde dabei entsprechend der Gleichung (5) durchgeführt:

$$\text{Wasserversorgung} = \text{Klim. Wasserbilanz}_{\text{Apr.}-\text{Sept.}} - \text{nutzb. Feldkapazität} / 2 \quad (5)$$

Eine „gute“ Wasserversorgung wird bei Werten über 100 (= theoretischer Wasserüberschuss von mindestens 100 mm in der Vegetationsperiode) konstatiert. Eine geringe natürliche Ertragsfähigkeit wird für Flächen angenommen, deren Ackerzahl kleiner als 40 ist. Das existierende Biomassenpotenzial auf den resultierenden Flächen mit guter Wasserversorgung aber relativ geringer natürlicher Ertragsfähigkeit für die einzelnen Gemeinden der Region ist in Abbildung 6-25 dargestellt. Gemeinden, für welche die nötigen Eingangsdaten zur Identifizierung solcher Flächen nicht zur Verfügung standen, sind von der Darstellung ausgeschlossen. Hervorzuheben ist insbesondere die Gemeinde Weilheim i. OB., wo insgesamt eine Fläche von 31 ha mit guter Wasserversorgung aber geringen Ackerzahlen identifiziert

wurde. Das langfristige Ertragspotenzial für Pappel-KUP auf dieser Fläche beträgt 417 t/a. Dies entspricht einem theoretischen Ertrag von rund 2,1 GWh_{el}/a Strom bzw. etwa 1,7 GWh_{therm}/a Wärme.

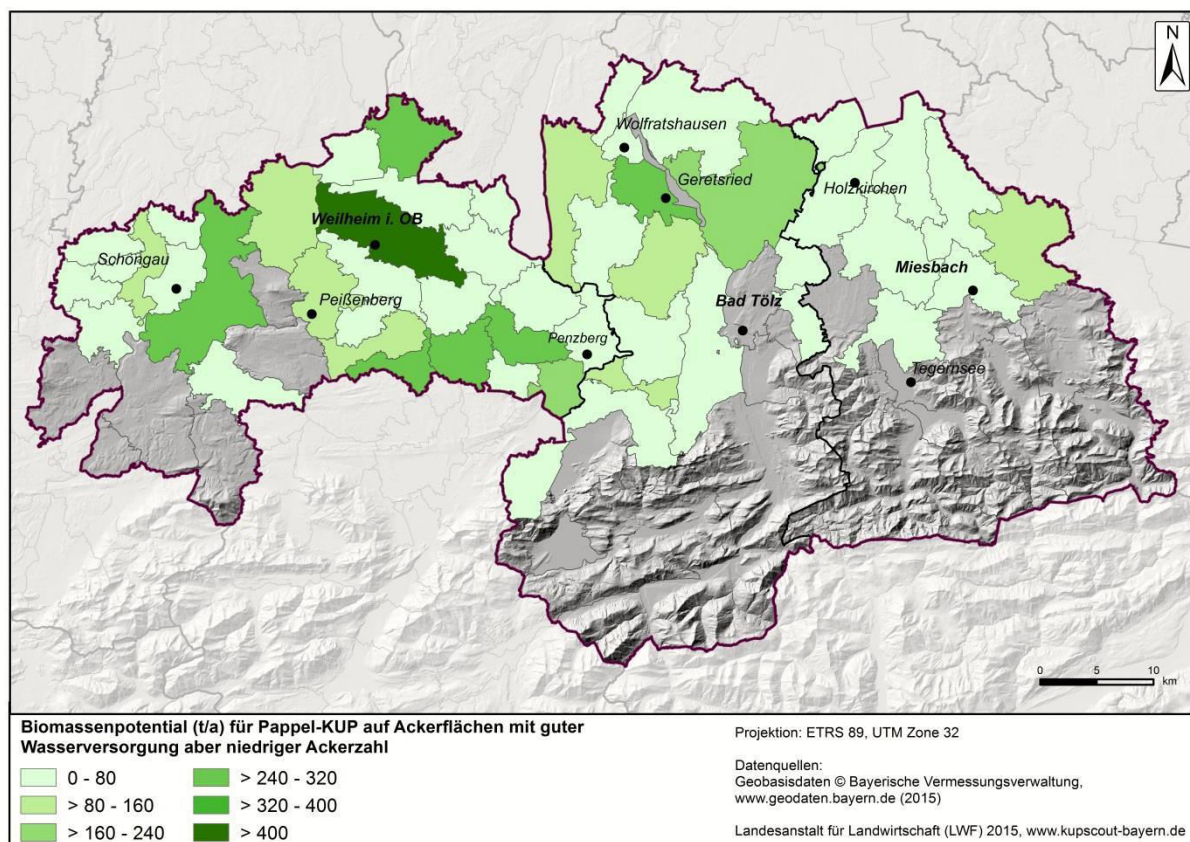


Abbildung 6-25: Biomassenpotential auf Ackerflächen mit guter Wasserversorgung aber relativ geringer natürlicher Ertragsfähigkeit (Ackerzahl). Gemeinden in denen die nötigen Eingangsdaten für die Identifizierung solcher Flächen nicht vorliegen, sind von der Darstellung ausgeschlossen (Reliefhintergrund).

6.6.4 Forstwirtschaftliche Potenziale

Wie durch KUP kann durch die nachhaltige Nutzung des in den Wäldern befindlichen Energieholzpotenzials ein wesentlicher Beitrag für eine zukunftsfähige und CO₂-freie Wärmeversorgung geleistet werden.

6.6.4.1 Waldholzpotenziale laut Energieatlas Bayern

Daten über das jährlich zu Verfügung stehende Energieholzpotenzial auf Gemeindeebene sind über den Energieatlas Bayern (BAYSTMW 2014b) abrufbar. Die dort aufgeführten Nutzungspotenziale beziehen sich dabei auf Derbholz (= oberirdische Holzmasse über 7 cm Durchmesser mit Rinde). Zu welchem Grad das Potenzial in den jeweiligen Gemeinden bereits ausgenutzt ist, wird nicht berücksichtigt. Basis der Abschätzung ist die Holzaufkommensprognose sowie die Holzeinschlagserhebung Bayerischen der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF 2005, 2014b). Die Sortierungspraxis in Abhängigkeit der Eigentumsarten wurde bei dieser Abschätzung berücksichtigt.

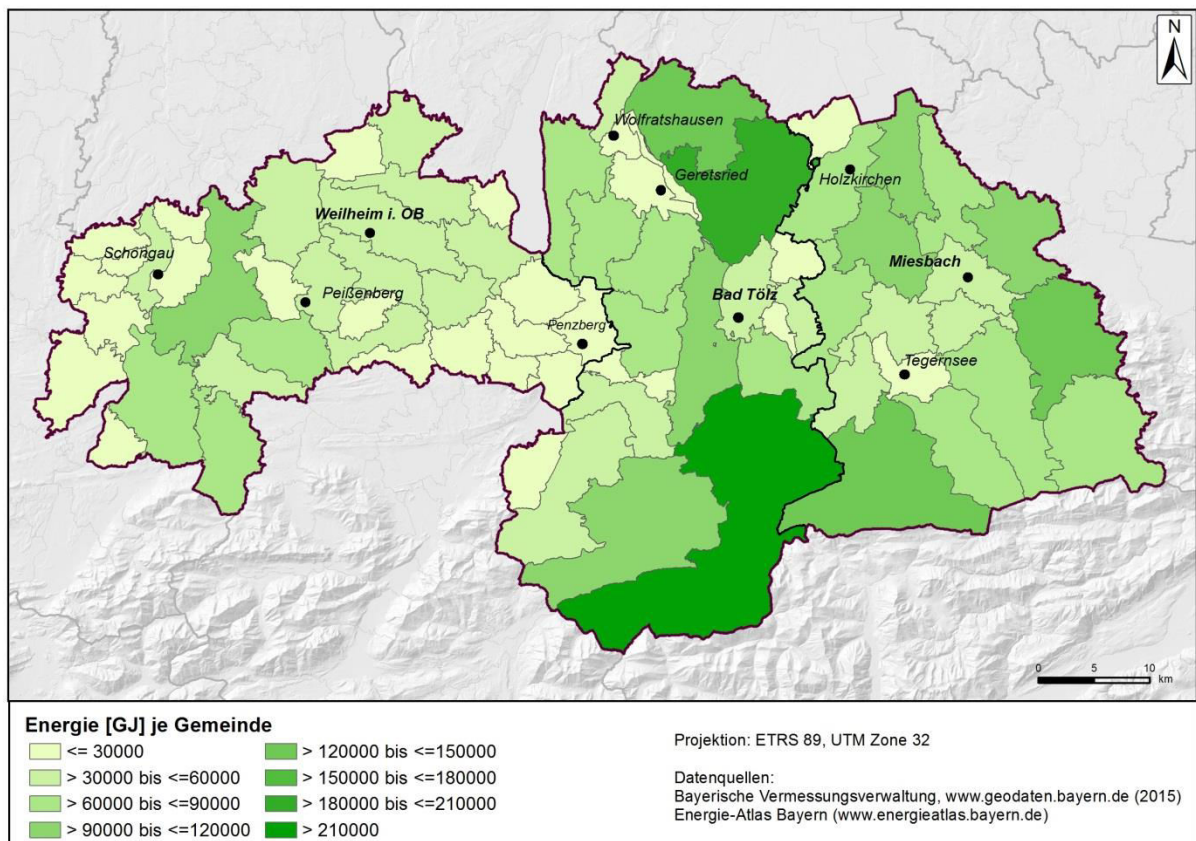


Abbildung 6-26: Die Karte gibt Auskunft über das jährlich nutzbare Energiepotenzial aus Waldholz in den Gemeinden der Region „Energiewende Oberland“.

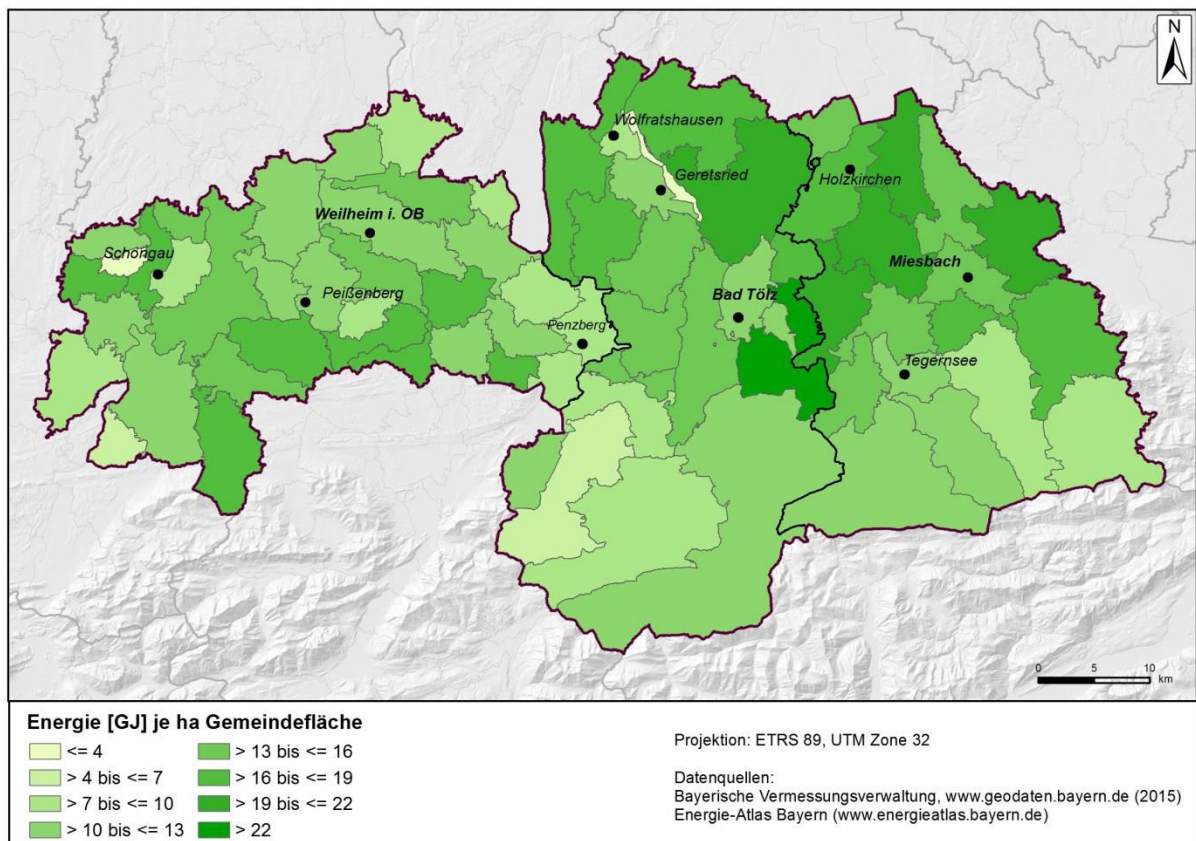


Abbildung 6-27: Die Karte gibt Auskunft über das jährlich nutzbare Energiepotenzial aus Waldholz je ha Gemeindefläche.

Die räumliche Verteilung der jährlich nutzbaren Energieholzpotenziale innerhalb der Region „Energiewende Oberland“ ist in Abbildung 6-26 dargestellt. Ein besonders hohes jährlich nutzbares Energiepotenzial existiert in den Waldgebieten der Gemeinden Dietramszell und Lenggries mit jeweils mehr als 210.000 GJ, wobei die absolute zur Verfügung stehende Energiemenge vor allem durch die Größe der Waldflächen in den Gemeinden definiert ist. Ergänzend dazu ist deshalb das Energieholzpotenzial pro Hektar Gemeindefläche dargestellt (Abbildung 6-27). Hier zeigt sich vor allem, dass hohe energetische Waldholzpotenziale pro Fläche im nordwestlichen Teil des Untersuchungsgebiets bestehen, während in den Gemeinden mit hoher Reliefenergie das Energiepotenzial je Hektar Gemeindefläche trotz des hohen Waldanteils niedriger ausfällt. Insgesamt beläuft sich die verfügbare Energiemenge aus Waldholz in der Region auf 3,9 Mio. GJ. Welche Energiemenge davon letztendlich nutzbar gemacht werden kann, hängt von den Wirkungsgraden und Jahresnutzungsgraden der Anlagen ab, die das Energieholz verbrennen.

Mit einem Jahresnutzungsgrad von 80 % (LWF 2014a) können daraus pro Jahr ca. 867 GWh_{therm} an Wärme bereitgestellt werden, die sich wie folgt auf die Landkreise aufteilen: 321 GWh_{therm} in TÖL, 282 GWh_{therm} in MB und 263 GWh_{therm} in WM.

Tabelle 6-16: Jährlich nachhaltig nutzbares Energieholzpotenzial

	Jährlich nachhaltig nutzbares Energie- potential [1.000 GJ/a]	Jährlich nachhaltig nutzbares Energie- potential [GWh/a]	Wärmeertrag [GWh _{therm} /a]
Bad Tölz-Wolfratshausen	1.446	402	321
Miesbach	1.271	353	283
Weilheim-Schongau	1.184	329	263
EWO	3.901	1.084	867

6.6.4.2 Waldholzpotenziale nach Bundeswaldinventur 3

Neben den Daten des bayerischen Energieatlas, in denen das derzeitige Sortierungsverhalten der verschiedenen Besitzklassen in der Berechnung des nutzbaren Energiepotenzials berücksichtigt ist, liefert die dritten Bundeswaldinventur (BWI 3) Ergebnisse über den aktuellen Zuwachs aller Baumarten und Besitzklassen in den Landkreisen der Region (LWF 2014a). Anhand der absoluten Zuwachsraten kann somit das theoretische Energieholzpotenzial für die Region bestimmt werden, unabhängig von der derzeit gewählten Sortierungspraxis. Nach den Ergebnissen der BWI 3 beträgt der mittlere Zuwachs (Ø 2002-2012) in der Region der Energiewende Oberland über alle Baumarten und Besitzklassen 9,92 m³/ha pro Jahr. Unter Berücksichtigung aller aktuellen Waldflächen der drei Landkreise ergibt sich für die Gesamtregion ein durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs von 1.388.612 m³ (LWF 2014a).

Für die Bestimmung des daraus resultierenden theoretischen Energiepotenzials wurde der jährliche Gesamtzuwachs auf den prozentualen Baumarten-Bestand umgelegt und die daraus resultierenden Festmeter mit der mittleren Rohdichte (Wassergehalt $w = 15\%$) und dem Heizwert für Holz (Nadelholz 4,3 kWh/kg, Laubholz 4,2 kWh/kg (LWF 2014a)) multipliziert (siehe Tabelle 6-17 und Tabelle 6-18). In Summe ergibt dies gemäß Tabelle 6-19 ein theoretisches Energieholzpotenzial von ca. 5,9 TWh pro Jahr (siehe Tabelle 6-19). Unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade von Biomasseheizwerken (32,5 % elektrisch, 87,3 % thermisch) könnten insgesamt ca. 1,9 TWh Strom und/oder 5,2 TWh Wärme produziert werden. Laut einer Studie zum Energieholzmarkt in Bayern werden aktuell 18 % des Holzeinschlags bereits zur Energieproduktion genutzt. Das noch ungenutzte Potential beläuft sich demnach auf 1.889 GWh/a Strom- bzw. 4.346 GWh/a Wärmeenergieerzeugung.

Tabelle 6-17 Laubholzenergieholzpotenzial innerhalb der Region Oberland

	Fläche [ha]	Jährlicher Zuwachs gesamt [1.000 m ³ /ha]	Energiegehalt [GWh/a]	Stromertrag [GWh/a]	Wärmeertrag [GWh/a]	ungenutztes Strompotenzial [GWh/a]	ungenutztes Wärmepotenzial [GWh/a]
TÖL	22.072	158	664	216	580	211	481
MB	14.715	105	443	144	387	141	321
WM	10.033	72	302	98	263	96	219
EWO	46.820	335	1.409	458	1.230	448	1.020

Tabelle 6-18 Nadelholzenergieholzpotenzial innerhalb der Region Oberland

	Fläche[ha]	Jährlicher Zuwachs gesamt [1.000 m ³ /ha]	Energie- gehalt [GWh/a]	Stromertrag [GWh/a]	Wärmeertrag [GWh/a]	ungenutztes Strompotenzial [GWh/a]	ungenutztes Wärmepotenzial [GWh/a]
TÖL	43.928	497	2.135	694	1.864	679	1.568
MB	29.285	331	1.423	463	1.243	453	1.045
WM	19.967	226	971	315	847	309	713
EWO	93.180	1.054	4.529	1.472	3.954	1.441	3.326

Tabelle 6-19 Waldenergieholzpotenzial innerhalb der Region Oberland

	Fläche [ha]	Jährlicher Zuwachs gesamt [1.000 m ³]	Energiegehalt [GWh/a]	Stromertrag [GWh/a]	Wärmeertrag [GWh/a]	ungenutztes Strompotenzial [GWh/a]	Ungenutztes Wärmepotenzial [GWh/a]
TÖL	66.000	655	2.799	910	2.444	890	2.049
MB	44.000	436	1.866	607	1.629	594	1.366
WM	30.000	298	1.272	414	1.111	405	931
EWO	140.000	1.389	5.937	1.930	5.184	1.889	4.346

6.6.5 Sonstige Biomassepotenziale

Weitere Möglichkeiten zur Energiegewinnung durch Biomasse bestehen in der energetischen Verwertung von Biomüll, Grünabfällen, Tierexkrementen und Straßenbegleitgrün.

Beim theoretischen Potenzial von Tierexkrementen wird angenommen, dass alle Tierextreme in Biogasanlagen zu Methan umgewandelt werden, um daraus Strom und Wärme zu gewinnen. Die Werte des Potenzials können Tabelle 6-20 entnommen werden (FNR 2014, BAYLfSTAD 2015f, c).

Tabelle 6-20 Verfügbarkeit und Energiegehalt von Biomethan in der Region Oberland.

Tierart	Extreme pro Jahr	Methan [Nm ³]	Anzahl Tiere	Energiegehalt [GWh]
Milchkühe	17 m ³ Gülle	289	70.952	204
Rinder	2,8 t Mist	185	83.212	154
Schweine	1,6 m ³ Gülle	19	1.570	< 1
Pferde	11,1 t Mist	388	6.333	25
Hühner	2,0 m ³ /100 Tiere	164 / 100	62.024	1
Gesamt			224.091	384

Aus den Tierexkrementen lassen sich theoretisch mittels Biogasanlagen 144 GWh_{el}/a Strom und 171 GWh_{therm}/a an Wärme erzeugen (siehe Tabelle 6-21). Knapp 15 % der vorhandenen Tierexkremente werden bereits als Wirtschaftsdünger oder für die Energieerzeugung verwendet. Das noch ungenutzte Energiepotenzial beläuft sich somit auf 123 GWh/a an Strom und 145 GWh/a an Wärme.

Tabelle 6-21: Potentieller Strom- und Wärmeertrag aus Tierexkrementen in der Region Oberland.

Tierart	Stromertrag [GWh/a]	Wärmeertrag [GWh/a]	ungenutzter Stromertrag [GWh/a]	ungenutzter Wärmeertrag [GWh/a]
Milchkühe	77	91	65	77
Rinder	58	68	49	58
Schweine	< 1	< 1	< 1	< 1
Pferde	9	11	8	9
Hühner	< 1	< 1	< 1	< 1
Gesamt	144	171	123	145

In der Region Oberland existieren 10 kommunale Kläranlagen. Diese produzieren jährlich 3.855.199 m³ Faulgas. Es werden bereits drei Anlagen zur Stromproduktion genutzt, allerdings wird der Großteil des Faulgases (2.316.869 m³/a) ungenutzt abgefackelt (BAYStMWi 2014b). Wird von einem Brennwert von

6,64 kWh/m³ für Klärgas mit einem Methangehalt von 60 % ausgegangen, so ergibt sich eine energetische Gewinnung von 15,4 GWh/a. Dies entspricht in etwa einem Drittel des angenommenen Potenzials von Tierexkrementen. Bei einem BHKW mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 35 % und einem thermischen Wirkungsgrad von 47 % können mithilfe des Klärgases 5,4 GWh_{el}/a Strom und 7,2 GWh_{therm}/a Wärme bereitgestellt werden (FNR 2014, THÖMING o.J.).

Außerdem wurden im Jahr 2014 26.140 t Bioabfälle und 33.943 t Grünabfälle von den Recyclingunternehmen der Landkreise erfasst und verwertet. Die Grünabfälle können in insgesamt 18 Annahmestellen abgegeben werden. Die Bioabfälle werden in Biotonnen gesammelt und abgeholt. Die genauen Daten sind in Tabelle 6-22 ersichtlich (GANSER 2015, KNOPP 2015, VIVO 2015).

Im Landkreis Weilheim-Schongau werden zwei Biogasanlagen betrieben, die ausschließlich mit Grasschnitt bestückt werden. Im Landkreis Miesbach ist eine Anlage vorhanden, die Biomüll in einer Biogasanlage zu Energie umwandelt (EVA GMBH 2015, VIVO 2015, WGC RECYCLING MBH 2015).

Tabelle 6-22 Anfallende Mengen an Grün- und Bioabfällen der drei Landkreise in den Jahren 2012 bis 2014

Lkr./Region	2012		2013		2014	
	Grünabfälle [t]	Bioabfälle [t]	Grünabfälle [t]	Bioabfälle [t]	Grünabfälle [t]	Bioabfälle [t]
Bad Tölz-Wolfratshausen	13.400	9.000	13.400	9.000	13.400	9.000
Miesbach	7.767	10.615	7.520	9.913	8.208	7.520
Weilheim-Schongau	11.467	9.784	11.240	9.036	12.335	9.620
„Energiewende Oberland“	32.634	29.399	32.160	27.949	33.943	26.140

Bei der Verbrennung von Abfällen in Müllverbrennungsanlagen entsteht Wärme, die in Fern- und Nahwärmenetzen genutzt werden kann. Derzeit ist innerhalb der Region Oberland keine Müllverbrennungsanlage installiert (EVA GMBH 2015, VIVO 2015, WGC RECYCLING MBH 2015). In den Landkreisen Bad Tölz-Wolfratshausen und Miesbach können Altspeiseöle und -fette an den Wertstoffhöfen abgegeben werden. Im Landkreis Weilheim-Schongau ist dies nicht möglich und sollte deshalb eingerichtet werden. Altspeiseöle und -fette lassen sich in BHKWs in Energie oder in Biodieselanlagen zu Biodiesel umwandeln (EVA GMBH 2015, VIVO 2015, WGC RECYCLING MBH 2015).

Das Potenzial von Straßenbegleitgrün basiert aufgrund einer angenommenen nachhaltigen Pflege, die in regelmäßigen Zeitabständen einen vorgegebenen Pflegestandard wiederherstellt, auf den Aufwuchsmengen für Gras- und Gehölzschnitt an Straßen. Bedingt durch die breit gefächerten Herkunftsbereiche und den vergleichsweise hohen Bergungsaufwand ist eine Erfassung in der Regel lediglich begrenzt durchführbar. Für den Bereich des Straßenbegleitgrüns liegen unterschiedliche Untersuchungen und Auswertungen vor, welche insgesamt ein sehr heterogenes Bild ergeben. In der Folge wird der

Ansatz von RÖSCH (1996) gewählt. Daraus ergibt sich für die Region nach Tabelle 6-23 ein Potenzial von 0,8 GWh_{el}/a für Strom und 3,7 GWh_{therm}/a an Wärme.

Tabelle 6-23 Energiepotenzial des Straßenbegleitgrüns innerhalb der drei Landkreise Weilheim-Schongau, Miesbach und Bad Tölz-Wolfratshausen

	Länge [km]	Halmgutartig				Holzartig			Gesamtertrag [MWh/a]	
		Fläche [ha]	Energie- gehalt [MWh/ a]	Stromer- trag [MWh/a]	Wärmeer- trag [MWh/a]	Fläche [ha]	Energie- gehalt [MWh/ a]	Wärmeer- trag [MWh/a]	Strom [MWh/a]	Wärme [MWh/a]
Bundesautobahn	73	154	417	146	147	44	549	440	146	587
Bundesstraße	390	234	633	222	223	78	974	779	222	1.002
Land-/ Staats- straße	435	261	707	247	249	87	1.087	870	247	1.119
Kreisstraße	411	247	668	234	236	82	1.028	822	234	1.058
Summe	1.309	895	2.425	849	855	291	3.638	2.910	849	3.766

6.6.6 Zusammenfassung Biomasse

Für alle Biomassearten wurde das Gesamtpotenzial bestimmt. Für das technische Potenzial des Waldholzes wird der gesamte Zuwachs nach Bundeswaldinventur (BWI 3) als Energieholz verwendet und somit die übliche Sortierpraxis vernachlässigt. Insgesamt ergeben sich 2.345 GWh derzeit ungenutztes Potenzial zur Stromerzeugung (siehe Abbildung 6-28). Über das Straßenbegleitgrün können 0,8 GWh, Tierexkremente 123 GWh, Mais 50 GWh und Grünland 282 GWh bereitgestellt werden.

Das Gesamtpotenzial der Wärmebereitstellung durch Biomasse liegt gemäß Abbildung 6-29 bei etwa 5.200 GWh. Es setzt sich aus Waldholz & Kurzumtriebsplantagen (4.634 GWh), Tierexkrementen (146 GWh), Straßenbegleitgrün (4 GWh), Grünland (335 GWh) und Mais (81 GWh) zusammen.

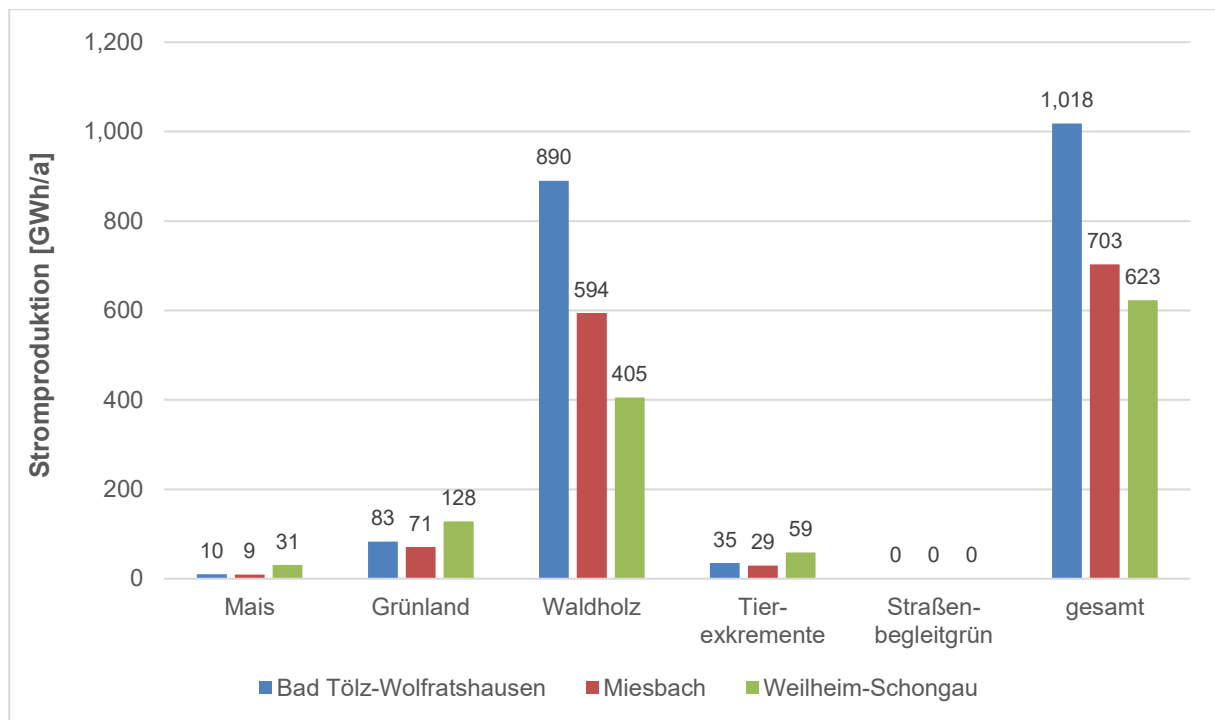


Abbildung 6-28: Ungenutztes Biomassepotenzial zur Stromerzeugung in der Region „Energiewende Oberland“.

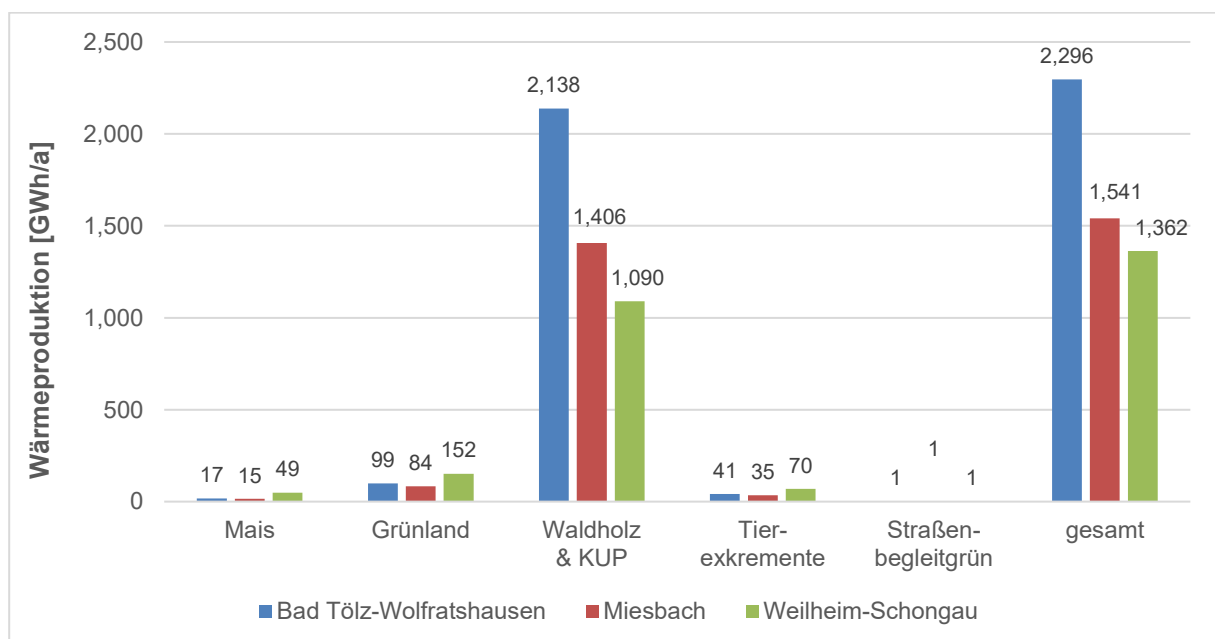


Abbildung 6-29: Ungenutztes Biomassepotenzial zur Wärmeerzeugung in der Region „Energiewende Oberland“.

6.7 Geothermie und Umweltwärme

Erdwärme (Geothermie) ist die Wärmeenergie, die unterhalb der festen Oberfläche der Erde gespeichert ist. In Mitteleuropa steigt die Temperatur um ca. 3 °C pro 100 m Tiefe an, im Erdkern werden Temperaturen von bis zu 7.000 °C erreicht (BUNDESVERBAND GEOTHERMIE 2015). Diese Wärmeenergie kann sehr vielfältig genutzt werden. Neben der Wärmeversorgung von Gebäuden oder größeren Gebieten (Siedlungen, Gewerbe- und Industriegebiete) sowie der Nutzung von Thermalwässern kann sie

auch zur Kühlung von Gebäuden oder zur Speicherung von Wärme und Kälte im Untergrund sowie zur Kühlung oder Beheizung von Straßen, Brücken oder Start- und Landebahnen verwendet werden. Zudem zieht man immer mehr auch eine Nutzung zur Stromerzeugung in Betracht. Ökologisch sinnvoll wäre vor allem eine Nutzung in Kraft-Wärme-Kopplung, bei der nach der Stromerzeugung die Restwärme zu Heizzwecken genutzt wird (BAYStMWIVT 2012).

Bei der geothermischen Energiegewinnung wird zwischen oberflächennaher (bis 400 m Tiefe) und tiefer Geothermie (bis zu 5.000 m Tiefe) unterschieden.

Als Umweltwärme wird die in der Umgebungsluft enthaltene Energie bezeichnet, die durch Sonneneinstrahlung entsteht (KALTSCHMITT et al. 2013).

6.7.1 Oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme

Die oberflächennahe Geothermie und Nutzung der Umweltwärme wird überwiegend für das Beheizen und Kühlen von Gebäuden oder Verkehrsinfrastruktur verwendet. Sie findet in einer Tiefe bis 400 m und Temperaturen bis 25°C statt. Über einen Wärmetauscher wird die Wärme im Boden aufgenommen und an der Oberfläche an eine Wärmepumpe abgegeben. Alternativ kann der Untergrund auch als Quelle für Klimakälte genutzt werden (BMW i 2015, BUNDESVERBAND GEOTHERMIE 2015). Die Nutzung von Umweltwärme funktioniert nach demselben Prinzip, hier findet der Temperaturexaustausch allerdings nicht mit dem Boden, sondern mit der Umgebungsluft statt und es wird ebenfalls eine Wärmepumpe benötigt. Beide Technologien erfordern zum Betreiben der Wärmepumpe eine externe Energiequelle, die meist über elektrischen Strom abgedeckt wird (KALTSCHMITT et al. 2013).

Eine Analyse des Potenzials für oberflächennahe Geothermie kann nicht verallgemeinernd durchgeführt werden. Hierfür bedarf es stets einer Einzelprüfung des jeweiligen Standortes. Zur Orientierung können jedoch Karten von Temperaturverteilungen in unterschiedlichen Tiefen herangezogen werden, die im Bayerischen Geothermie-Atlas zur Verfügung gestellt werden (BAYStMWIVT 2012). Ein Beispiel davon ist in Abbildung 6-30 dargestellt.

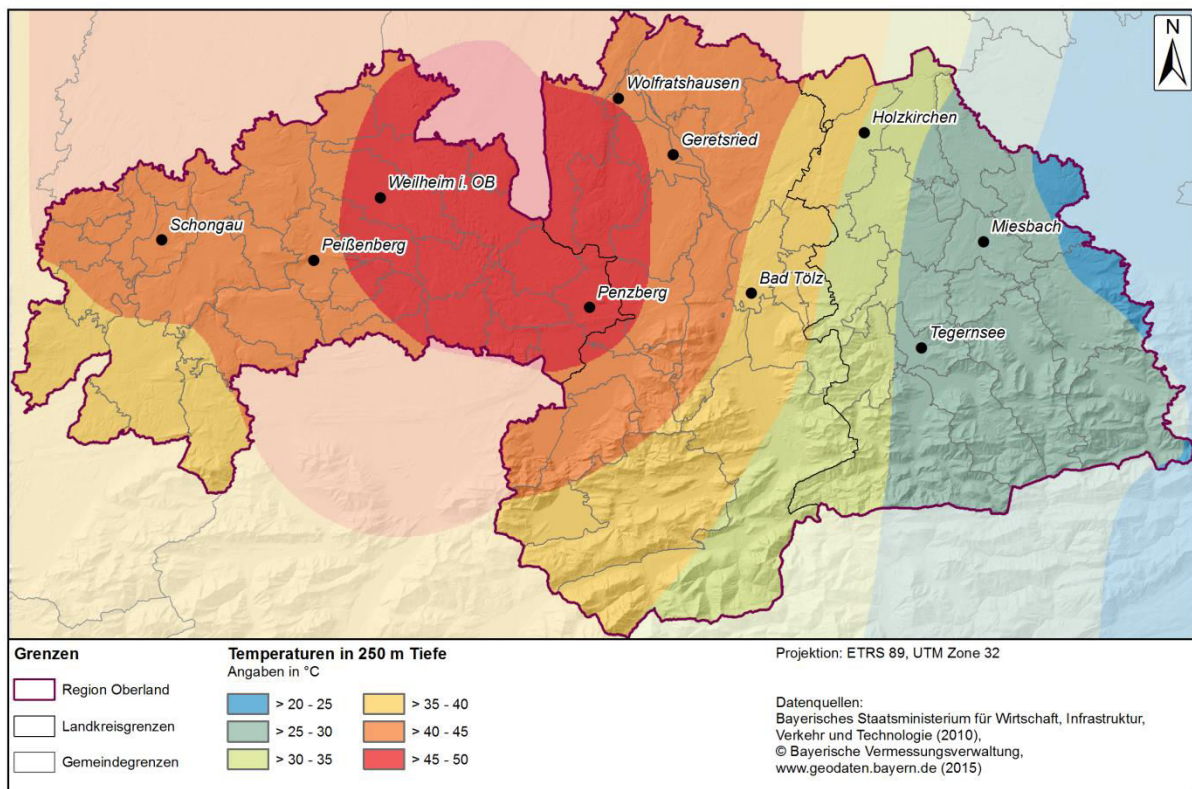


Abbildung 6-30: Temperaturverteilung der Region „Energiewende Oberland“ in 250 m Tiefe (BAYStMWIVT 2012).

Das Potenzial zur Nutzung der Umgebungsluft ist theoretisch unendlich, da Luft als Wärmequelle generell überall verfügbar ist. In der weiteren Betrachtung liegt der Fokus daher nur auf das Potenzial von oberflächennaher Erdwärmennutzung.

6.7.2 Tiefe Geothermie (Tiefengeothermie)

Bei der Tiefengeothermie wird noch einmal zwischen der Nutzung von Heißwasser-Aquiferen (= hydrothermale Energiegewinnung) und der Nutzung der im Gestein gespeicherten Energie (= petrothermale Energiegewinnung) unterschieden.

Bei der *hydrothermalen Geothermie* werden die heißen Quellen (40 bis über 100°C) im Untergrund meist über zwei Bohrungen erschlossen, sodass nach der Nutzung das Wasser wieder in den Aquifer zurückgeführt werden kann. Bei Wassertemperaturen über ca. 80°C ist auch eine Nutzung zur Stromerzeugung bzw. in Kraft-Wärme-Kopplung möglich (BAYStMWIVT 2012, BUNDESVERBAND GEOTHERMIE 2015).

Die *petrothermale Geothermie* wird in trockenen Tiefengesteinen durch das künstliche Erzeugen von Rissen bzw. die Aufweitung natürlicher Risse durchgeführt. Es gibt dabei mindestens zwei Bohrungen, die durch die Risse hydraulisch miteinander verbunden sein müssen. Kühles Wasser wird in einer Bohrung verpresst und in der anderen als Heißwasser wieder an die Oberfläche befördert. Im Gegensatz zur hydrothermalen Energiegewinnung kann diese Form der Tiefengeothermie in Deutschland aus technischen und wirtschaftlichen Gründen momentan nur begrenzt genutzt werden (BAYStMWIVT 2012, BUNDESVERBAND GEOTHERMIE 2015).

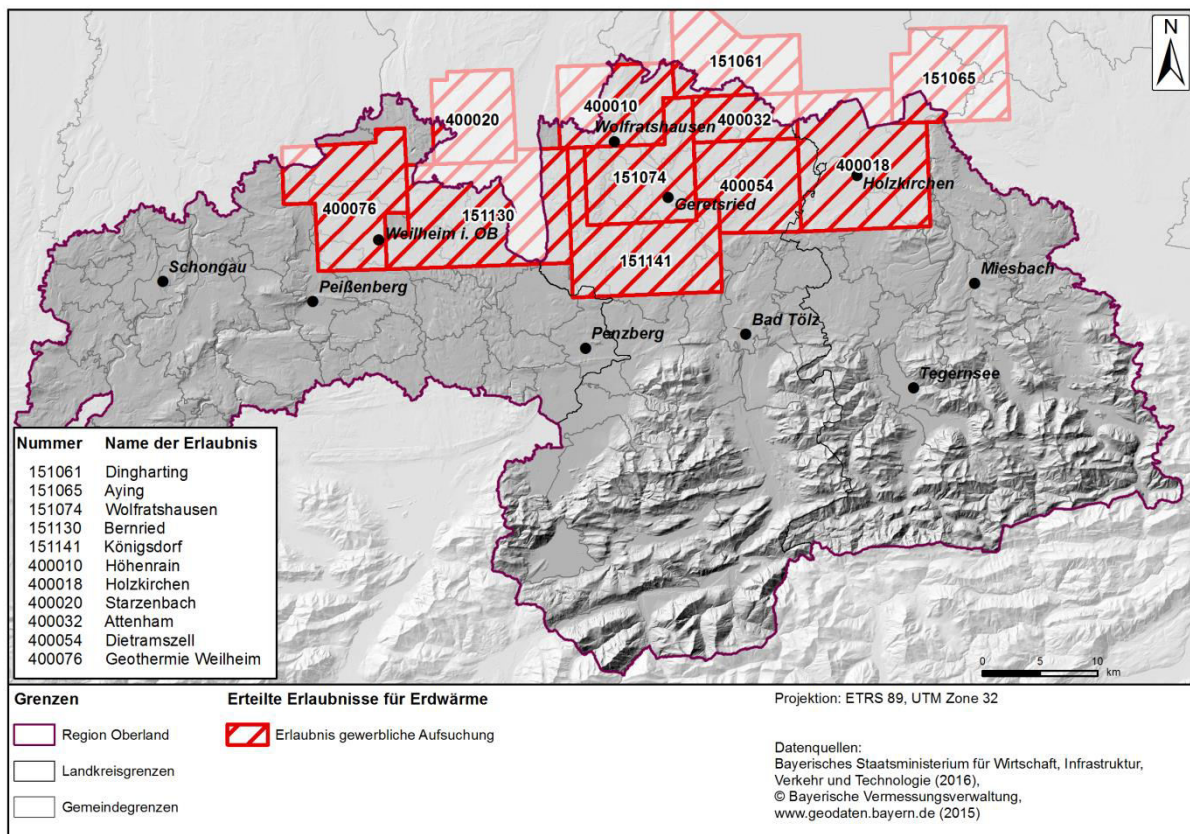


Abbildung 6-31: Erlaubnisse für gewerbliche Aufsuchung für Erdwärme in der Region „Energiewende Oberland“ (BAYSTMWI 2016b)

Für die Region „Energiewende Oberland“ gibt es aktuell die in Abbildung 6-31 dargestellten elf Erlaubnisfelder für gewerbliche Aufsuchung. Hier muss beachtet werden, dass erst die Ergebnisse der Bohrungen eine belastbare Abschätzung der entsprechenden Vorkommen ermöglichen. Insbesondere die Region „Energiewende Oberland“ ist derzeit noch „geothermisches Neuland“ (BAYSTMWI 2016a). Aufgrund vielfältiger technischer Probleme steht die geothermische Stromerzeugung momentan noch am Anfang. Reine Wärmeprojekte sind aufgrund der nötigen Bohrtiefen und den Folgekosten für die Wärmenetze in der Region wirtschaftlich kaum realisierbar (BAYSTMWIVT 2016a).

6.7.3 Technisches Potenzial

Eine Abschätzung des Energiepotenzials der Geothermie ist in besonderem Maße von den getroffenen Annahmen abhängig. Die Tiefengeothermie ist derzeit die mit den meisten Unsicherheiten belegte Form der erneuerbaren Energiegewinnung. Ein Einzelprojekt wird meist in der Investitionsgröße von 60 Millionen Euro liegen. Die Potenziale sind auch dementsprechend groß. Die Risiken bei der Tiefengeothermie sind recht umfangreich. Mitunter muss mit zu niedrigen Temperaturen, zu geringer Ergiebigkeit oder ungünstigen, nicht vorhersehbaren geologischen Verhältnissen, seismischen Risiken sowie technischen Risiken während der Bohrung und beim Anlagenbetrieb gerechnet werden.

Für die Bestimmung des Potenzials wurde die Potenzialstudie von LECHLER (2012) verwendet. Mit der Annahme von 8.300 Betriebsstunden für Kraftwerke zur Stromerzeugung und 4.150 Betriebsstunden

für Heizwerke zur Wärmeerzeugung für Ballungsräume ergibt sich für die Region ein Potenzial von 439 GWh/a an Strom und 5998 GWh/a an Wärme (siehe Tabelle 6-24). In den Claims von Bad Tölz-Wolfratshausen könnten pro Jahr allein etwa 126 GWh an Strom erzeugt werden. In den Ballungsgebieten Geretsried, Königsdorf und Bad Tölz wäre zusätzlich eine Bereitstellung von 230 GWh/a Wärme möglich. In Miesbach könnten pro Jahr 161 GWh/a Strom und für die Ballungsräume Miesbach und Holzkirchen insgesamt 258 GWh/a an Wärme bereitgestellt werden. In Weilheim-Schongau ließen sich 143 GWh/a an Strom und für Weilheim, Penzberg und Bernried 110 GWh/a an Wärme bereitstellen.

Tabelle 6-24 Potenzial der Tiefengeothermie innerhalb der drei Landkreise

Landkreis	Leistung Kraftwerk [kW _{el}]	Strommenge [GW _{el}]	Leistung Heizwerk [kW _{th}]	Wärmemenge [GW _{th}]
Bad Tölz-Wolfratshausen	15.184	126	55.451	230
Königsdorf	2.689	22	21.989	91
Geretsried	1.277	11	17.209	71
Bad Tölz	3.928	33	16.253	67
Königsdorf	3.426	28	0	0
Sachsenkam	3.864	32	0	0
Miesbach	20.387	161	35.017	258
Holzkirchen	3.400	30	24.500	215
Miesbach	4.591	38	10.517	44
Irschenberg	3.640	30	0	0
Otterfing	2.834	24	0	0
Valley	2.497	21	0	0
Warngau	3.425	28	0	0
Weilheim-Schongau	17.189	143	26.541	110
Weilheim	5.410	45	16.860	70
Bernried	6.630	55	9.650	40
Penzberg	5.149	43	0	0
„Energiewende Oberland“	52.760	439	116.978	598

Das Gesamtpotenzial der oberflächennahen Geothermie lässt sich nur schwer abschätzen. LECHLER (2012) nimmt hierbei an, dass sich die Anlagenanzahl der Region von 2012 (1.415) in etwa verzehnfacht. Mit einer durchschnittlichen Leistung von 7 kW und einer Nutzungsdauer 3.000 Stunden pro Jahr ergäbe sich hierbei für die Region ein Wärmeertrag von ca. 301 GWh/a. Aktuell (2014) werden davon

bereits 155 GWh/a genutzt. Der Landkreis Miesbach hat dabei mit 47 GWh den geringsten Anteil, gefolgt von Bad Tölz-Wolfratshausen mit 64 GWh. Das größte oberflächennahe Geothermie-Potenzial entfällt auf Weilheim-Schongau, mit ca. 190 GWh an erzeugter Wärmeenergie pro Jahr.

Tabelle 6-25 geschätztes Gesamtpotenzial der oberflächennahen Geothermie in der Region Oberland

Landkreis	Wärmeleistung [kW _{th}]	Wärmemenge [GWh _{th} /a]
Bad Tölz-Wolfratshausen	21.350	64
Miesbach	14.350	47
Weilheim-Schongau	63.350	190
„Energiewende Oberland“	99.050	301

6.7.4 Zusammenfassung Geothermie

Für die Geothermie ergibt sich gemäß Abbildung 6-32, ein ungenutztes Potenzial von 439 GWh_{el}/a und 598 GWh_{therm}/a. Ausgehend von LECHLER (2012) wurde das Potenzial der Wärmepumpen mit Faktor 10 bestimmt. In Bad Tölz-Wolfratshausen und Miesbach ist das Potenzial schon annähernd erreicht, wobei davon ausgegangen werden kann, dass noch größeres Potenzial vorhanden ist.

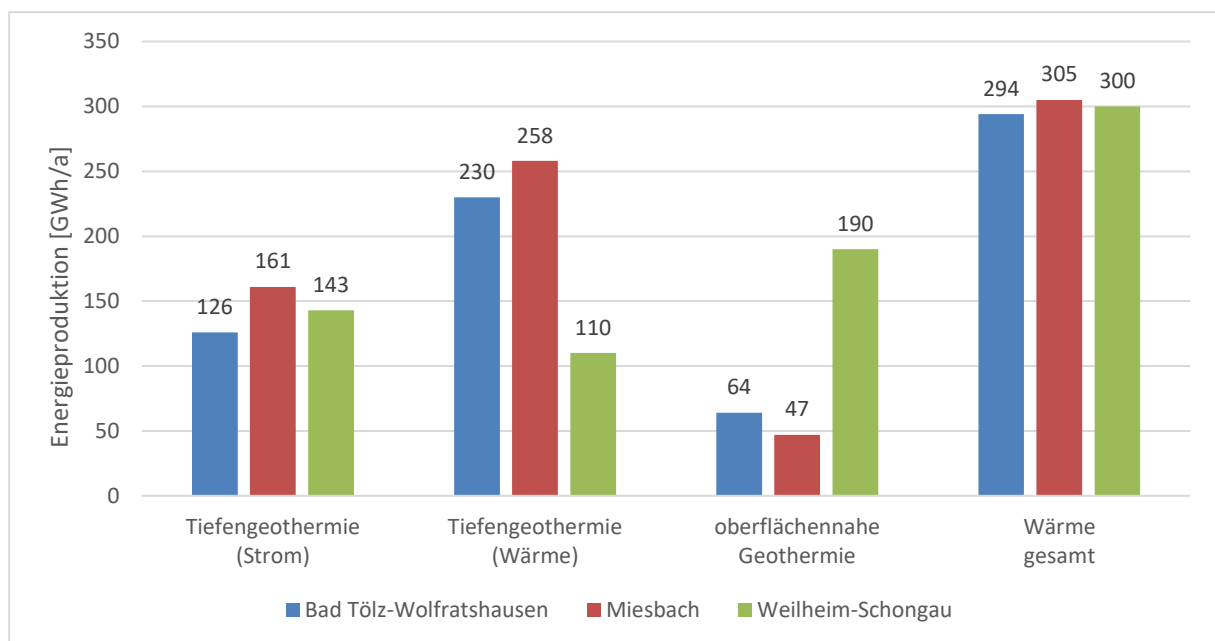


Abbildung 6-32: Ungenutztes Potenzial der Geothermie für Strom- und Wärmeerzeugung

6.8 Klimawandel und dessen Einfluss auf Potenziale für Erneuerbare Energien

Im Zuge des anthropogen verursachten Klimawandels wird es auch in der Region „Energiewende Oberland“ künftig zu Veränderungen der klimatischen Bedingungen kommen, die sich auf die Potenziale für Erneuerbare Energien auswirken. Um diese Veränderungen zu quantifizieren, wird auf Ergebnisse des

Forschungsprojektes GLOWA-Danube² zurückgegriffen. Hier wurden speziell regionale Auswirkungen des Klimawandels im Einzugsgebiet der Oberen Donau untersucht, in dem die Region „Energiewende Oberland“ liegt. Dazu wurden folgende regionale Klimaszenarien, die aus Klimadaten der Vergangenheit mit Hilfe des Klimagenerators KLIMAGEN statistisch generiert wurden, für die Region „Energiewende Oberland“ analysiert. Alle beruhen auf der Annahme, dass sich die Emissionen nach dem globalen IPCC A1B Szenario (NAKICÉNOVIC et al. 2000) entwickeln werden und geben dann die regionalen Trends verschiedener regionaler Klimamodelle wie „IPCC“ und „Remo“ (MAUSER UND PRASCH 2015) wieder. Zusätzlich wurde der Trend, der sich aus den Daten der Vergangenheit ergibt, in die Zukunft fortgeschrieben. Die verschiedenen Kombinationen ermöglichen die Simulation eines Ensembles an Szenarien, deren Ergebnisse zusammen einen plausiblen Erwartungstrichter aufspannen. Um die Unsicherheiten der Szenarien einzugrenzen, deckt der Modellzeitraum die Zeitspanne von 2011 bis 2060 ab (MAUSER UND PRASCH 2015). Im Folgenden werden die aus den Szenarien hervorgehenden künftigen Entwicklungen der Lufttemperatur sowie der Niederschlagssumme aufgezeigt. Für die Globalstrahlung sind die Auswirkungen des Klimawandels bisher weitgehend nicht geklärt (DWD 2012), so dass hier keine Trendanalysen gegeben werden und für die Potenzialanalyse vom Status-Quo der Vergangenheit ausgegangen wird. Ebenso wird auch bei der Windgeschwindigkeit verfahren, da hier die Datenlage kaum für eine fundierte Analyse ausreicht und nach derzeitigem Stand kaum Änderungen zu erwarten sind (BBK et al. 2012).

Für die Jahresmitteltemperatur ist mit einem Anstieg von 2,0 bis 3,2 °C bis Mitte des Jahrhunderts in der Region „Energiewende Oberland“ zu rechnen, welches der Vergleich der Klimanormalperioden von 2031 bis 2060 mit 1961 bis 1990 zeigt. Das bedeutet eine Weiterführung des bereits in der Vergangenheit beobachteten Temperaturanstieges in diesem Gebiet (Abbildung 6-33). Die räumliche Verteilung (Abbildung 6-36) zeigt, dass vor allem in den nördlichen Gebieten der Region der Anstieg deutlicher ausfällt als das in den südlichen Teilen der Fall ist. Das gilt sowohl für das Szenario „IPCC“ als auch „Remo“, obwohl hier in der Ausprägung selbst Unterschiede zu sehen sind, wie bereits der allgemeine Trend für die Region „Energiewende Oberland“ auf Abbildung 6-33 verdeutlicht.

Betrachtet man die Niederschlagsentwicklung für diesen Zeitraum, so ist mit einer Änderung von +1,3 bis -8,1 % über das Jahr hinweg zu rechnen (Abbildung 6-34). Hier sind allerdings für die Jahreszeiten deutlich unterschiedliche Entwicklungen nach den Szenarien zu erwarten. Im Szenariozeitraum setzt sich der Trend der Vergangenheit mit einem leichten Niederschlagsrückgang im Sommer und einer geringfügigen Erhöhung im Winter fort. So beträgt die Niederschlagserhöhung im Winter zwischen 7,5 und 11,8 %, während im Sommer mit einer Abnahme von 5,3 bis 19,9 % in der Region „Energiewende Oberland“ zu rechnen ist (Abbildung 6-35).

² Im Projekt GLOWA-Danube wurden die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Einzugsgebiet der oberen Donau untersucht. Hierfür wurde ein physikalisch basiertes Tool zur Simulation von Landoberflächenprozessen unter Berücksichtigung anthropogener Eingriffe verwendet. Siehe auch <http://www.glowa-danube.de> bzw. MAUSER UND PRASCH (2015).

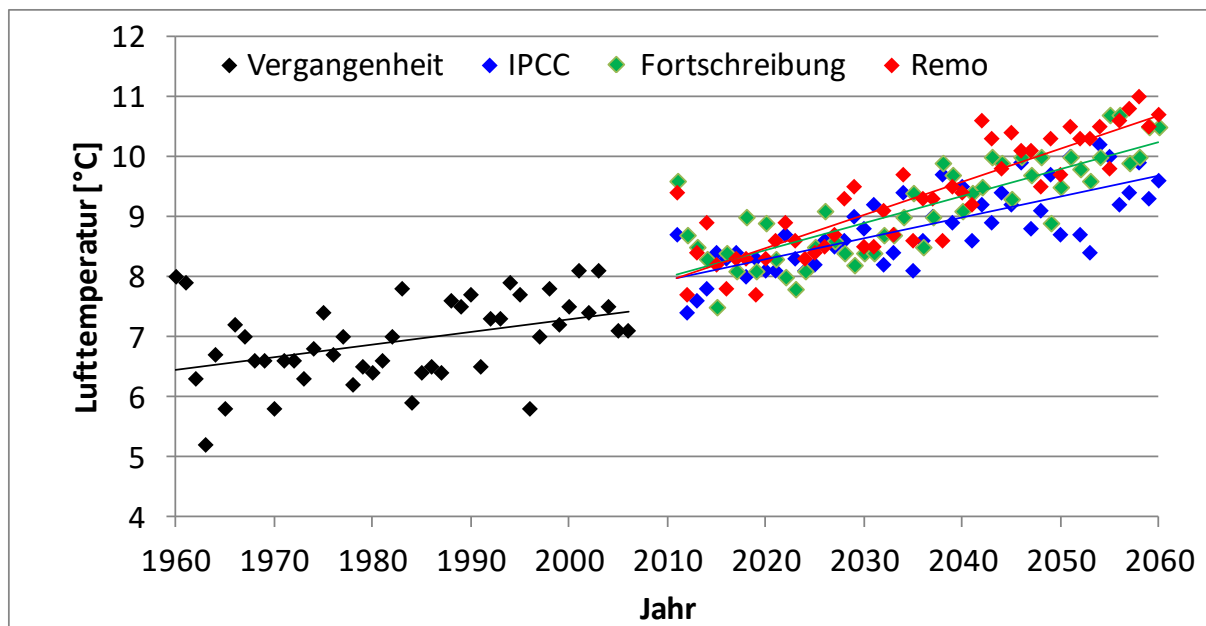


Abbildung 6-33: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.

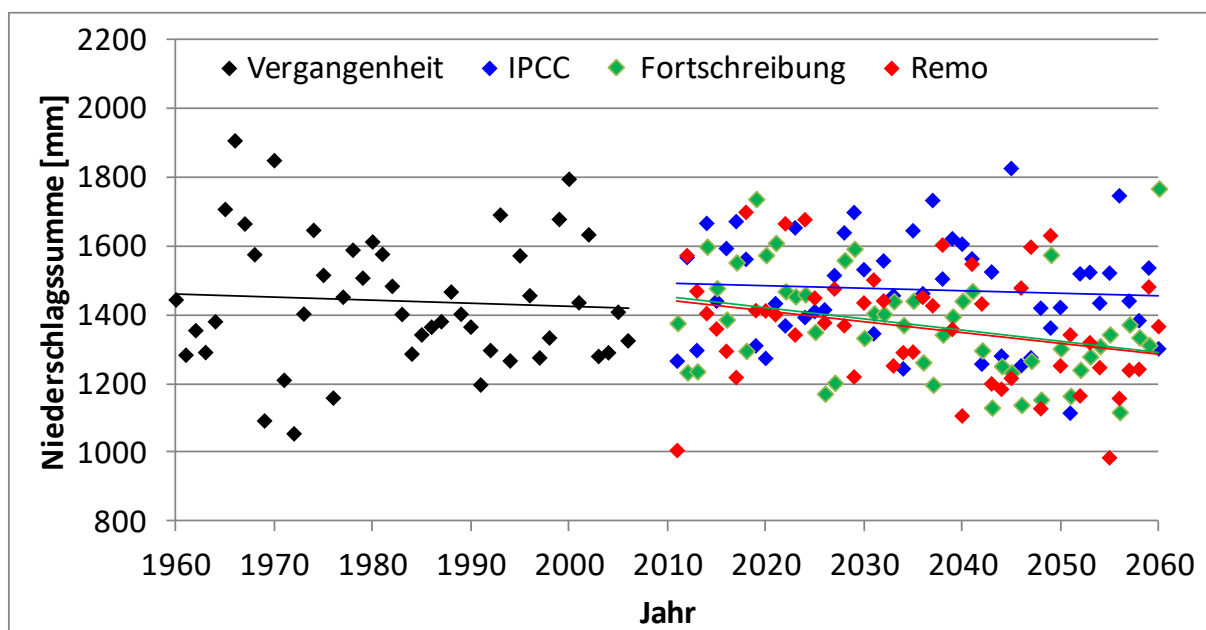


Abbildung 6-34: Entwicklung der Jahresniederschlagssumme in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.

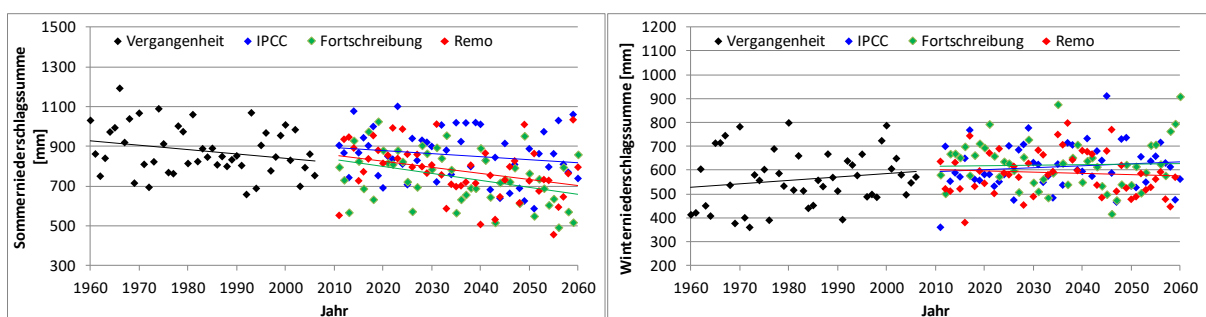


Abbildung 6-35: Entwicklung des Sommer- (links) und Winterniederschlags (rechts) in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.

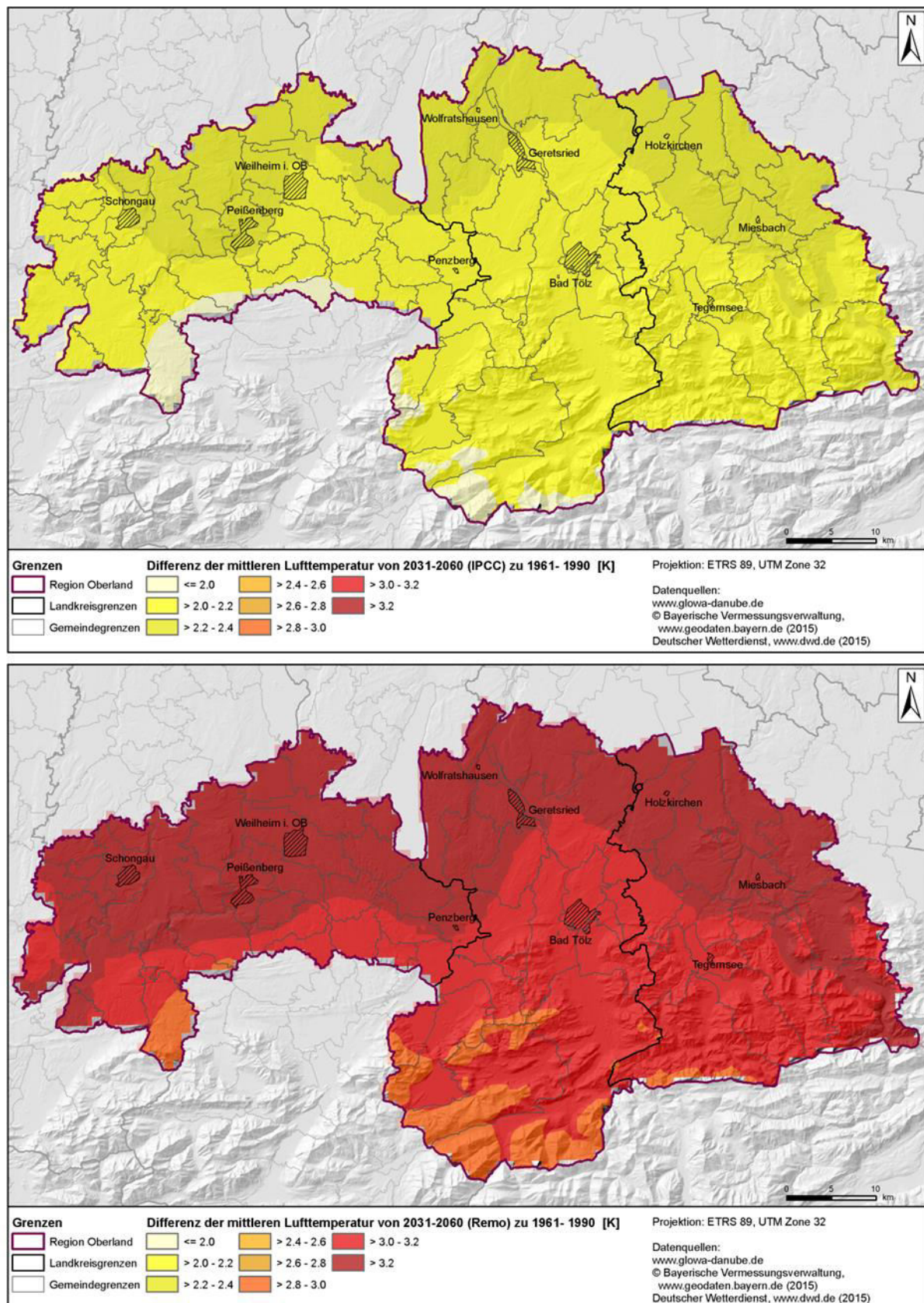


Abbildung 6-36: Differenz der Jahresmitteltemperatur in der Region Energiewende Oberland zwischen der Szenarioperiode von 2031 – 2060 zur Vergangenheit von 1961 – 1990 für die Szenarien IPCC (oben) und Remo (unten).

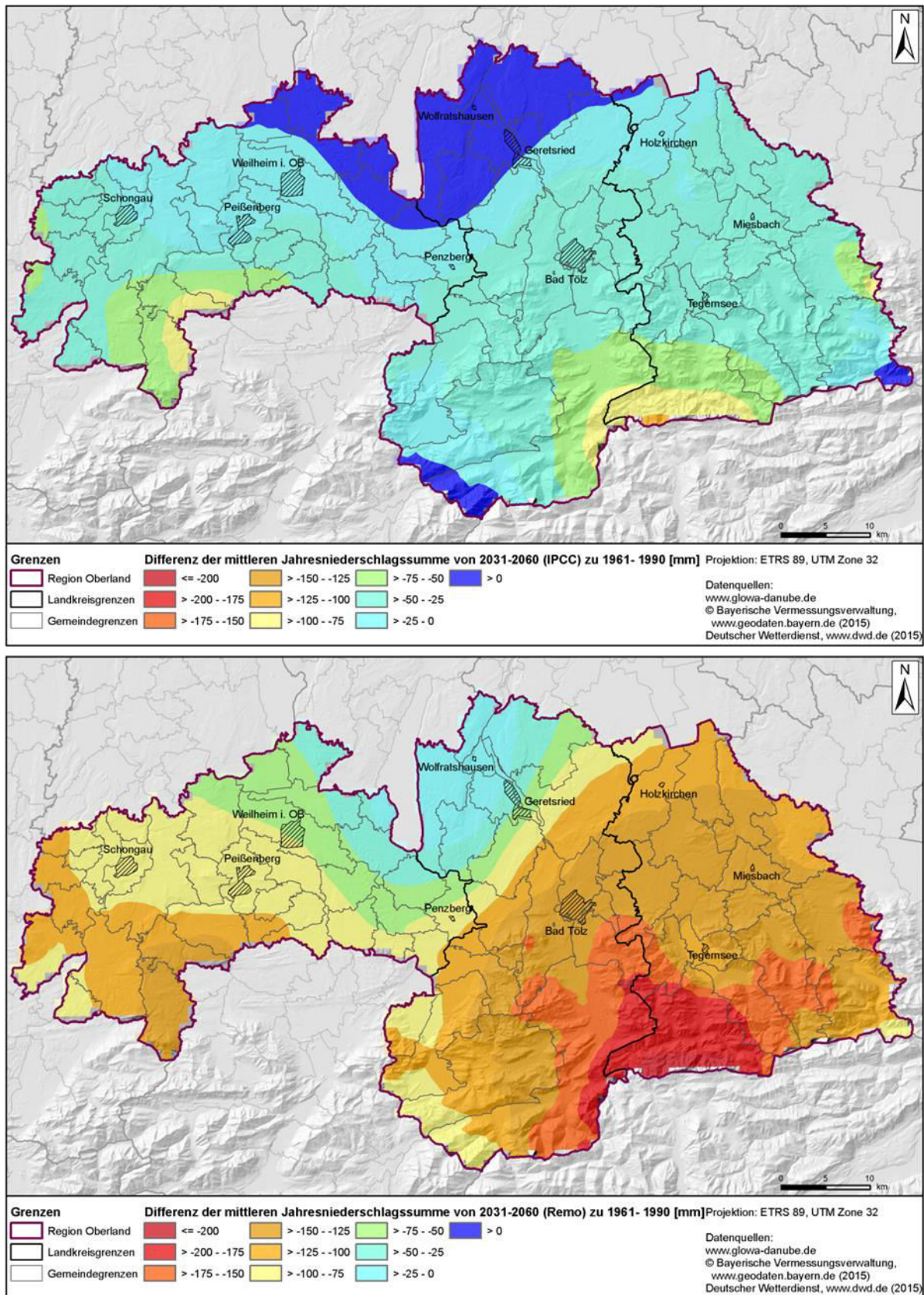


Abbildung 6-37: Differenz der mittleren Jahresniederschlagssumme in der Region „Energiewende Oberland“ zwischen der Szenarioperiode von 2031 – 2060 zur Vergangenheit von 1961 – 1990 für die Szenarien IPCC (oben) und Remo (unten).

Abbildung 6-37 zeigt die räumliche Entwicklung der mittleren Jahresniederschlagssumme in der Region „Energiewende Oberland“ für die zwei Szenarien „IPCC“ und „Remo“. Beide Szenarien resultieren in einem Rückgang der Niederschlagssumme für weite Teile der Region, bei „Remo“ fällt dieser allerdings deutlicher aus, während sich im IPCC Szenario nur geringfügige Unterschiede zwischen Szenario und Vergangenheit ergeben. In dem Gebiet südlich des Ammersees ist sogar mit einer minimalen Zunahme des Niederschlags im Jahresmittel zu rechnen.

Dabei spielt nicht nur die Niederschlagssumme, sondern auch die Niederschlagsart eine entscheidende Rolle. So ist bereits in der Vergangenheit eine deutliche Abnahme des Anteils an Schneeniederschlag am Jahresniederschlag zu erkennen, die sich in Zukunft weiter fortsetzen wird, so dass künftig der Anteil an Schneefall am Jahresniederschlag statt 23,6 % nur noch zwischen 14,8 und 17,0 % betragen wird, wie in Abbildung 6-38 zu sehen ist. Der zu erwartende Temperaturanstieg hat außerdem einen Anstieg der Verdunstungssumme von etwa 19 % Prozent zur Folge (Abbildung 6-39), so dass zusammen mit der beschriebenen Niederschlagsentwicklung die Wasserverfügbarkeit in der Region „Energiewende Oberland“ knapper werden wird.

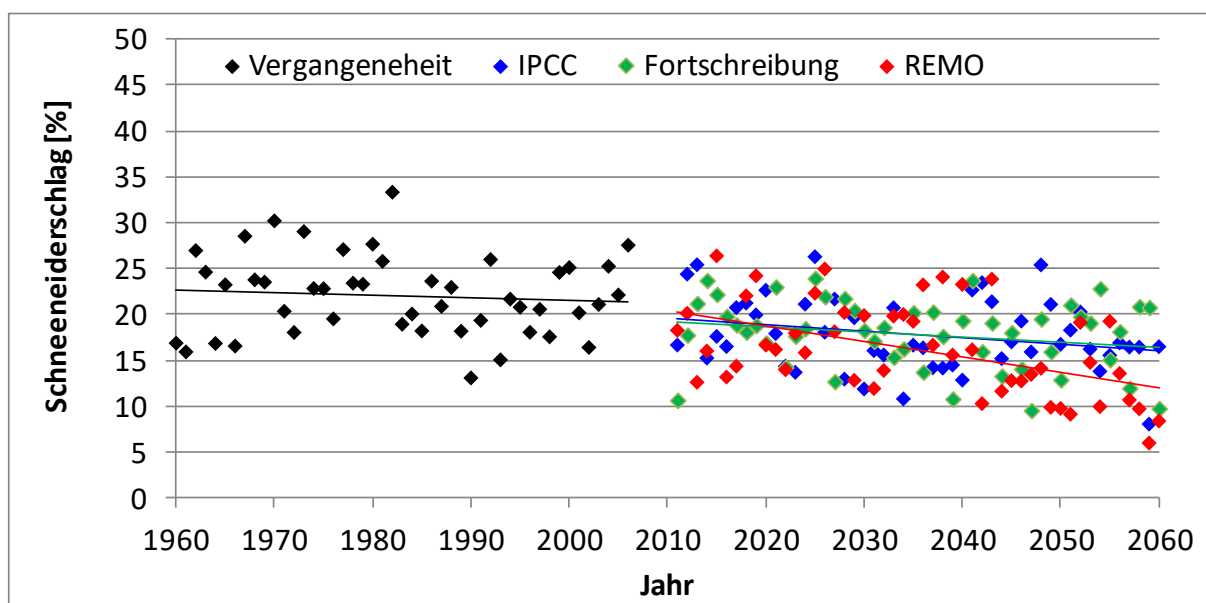


Abbildung 6-38: Entwicklung des Schneeniederschlags in der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.

So zeigen die Auswertungen der Szenario-Ergebnisse für die Pegel Weilheim an der Ammer und Landsberg am Lech einen Rückgang zwischen 22 und 8 % des Abflusses bzw. zwischen 16 und 4 % im Zeitraum von 2031 – 2060 zu 1961 – 1990.

Betrachtet man den jahreszeitlichen Verlauf des Abflusses an diesen beiden Pegeln über die Dekaden von 1961 bis 2060 für die Vergangenheit und die verschiedenen Szenarien, so ist in Weilheim eine deutliche Verschiebung des Abflussmaximums vom Mai in den April in den Frühling zu sehen (Abbildung 6-40). Am Pegel Landsberg (Abbildung 6-41) ist diese Verschiebung nicht feststellbar. Allerdings fällt bei beiden Pegeln auf, dass über die Sommermonate nach dem Abflussmaximum deutlich weniger

Abfluss vorhanden ist und zwar über alle Szenarien hinweg. Im Winter dagegen steht etwas mehr Wasser in den Flüssen zur Verfügung. Diese Veränderungen sind auf den reduzierten Sommerniederschlag, etwas mehr Winterniederschlag (siehe oben) sowie auf den geringeren Schneespeicher, eine früher im Jahr stattfindende Schneeschmelze sowie die erhöhte sommerliche Verdunstung zurückzuführen.

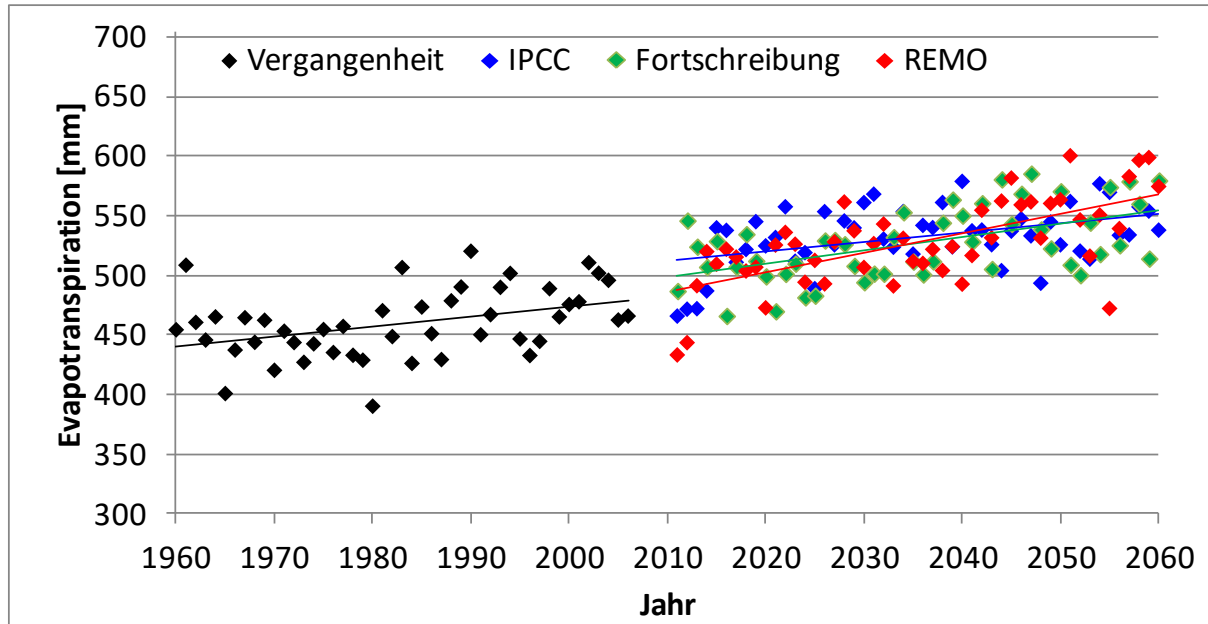


Abbildung 6-39: Entwicklung der Verdunstungssummen der Region Energiewende Oberland für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.

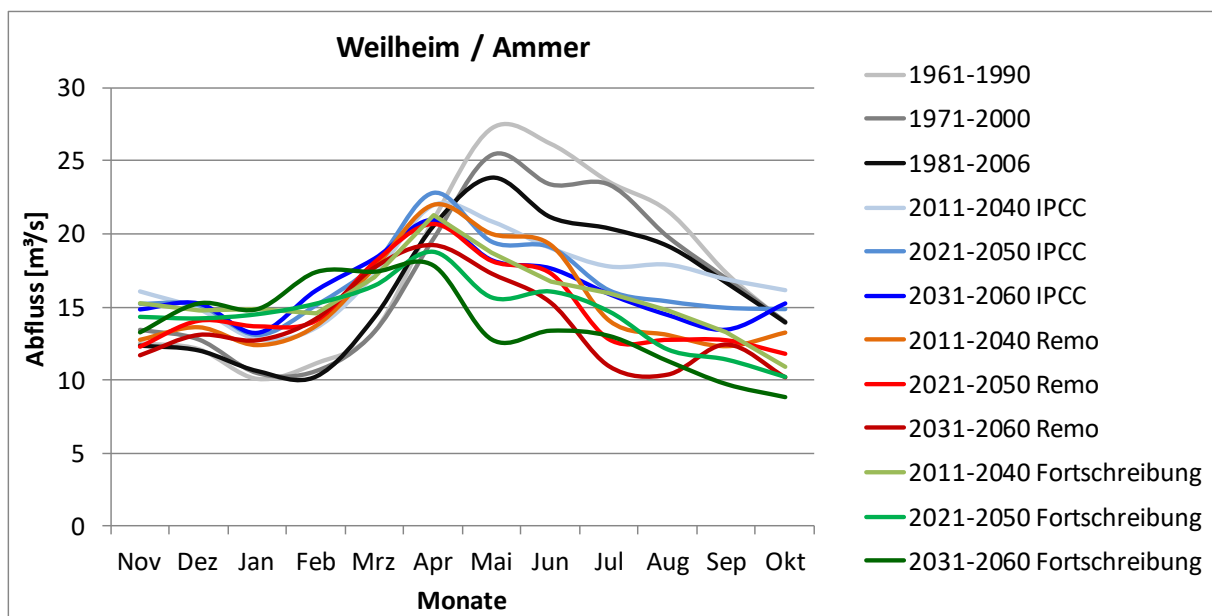


Abbildung 6-40: Entwicklung des Abflusses am Pegel Weilheim an der Ammer für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.

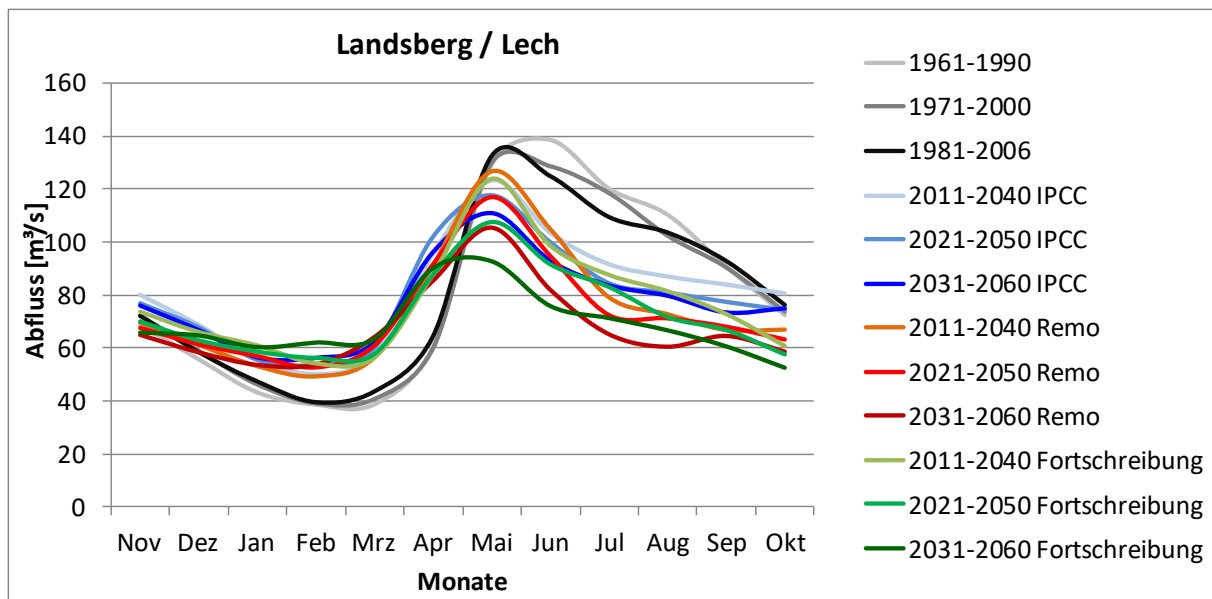


Abbildung 6-41: Entwicklung des Abflusses am Pegel Landsberg am Lech für die Vergangenheit und unter Szenariobedingungen.

Die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels in der Region „Energiewende Oberland“ werden sich auch auf die Potenziale zur Erzeugung Erneuerbarer Energien auswirken. So ist für die Biomasseproduktion mit einer Verlängerung der Vegetationsperiode aufgrund der ansteigenden Temperaturen zu rechnen. Zusätzlich könnten sich zumindest Mitte des Jahrhunderts die klimatischen Bedingungen für den Anbau bestimmter Kulturen in den südlicheren Regionen verbessern, wobei hier weitere Faktoren wie z. B. die Bodenart eine entscheidende Rolle spielen. Der Niederschlagsrückgang im Sommer wird dabei nicht limitierend wirken, da die Niederschlagsmenge noch ausreichend sein wird. Die Veränderungen, die für den Abfluss zu erwarten sind, werden sich allerdings deutlicher auswirken. Während im Winter etwas günstigere Bedingungen nach den Szenarien für die Produktion von Energie aus Wasserkraft zu erwarten sind, ist im Sommer von einer Verschlechterung auszugehen. Da sowohl für die künftige Entwicklung der Globalstrahlung als auch der Windgeschwindigkeit noch keine gesicherten Ergebnisse vorliegen, können keine Aussagen über die Folgen für die Photovoltaik / Solarthermie bzw. Windkraftanlagen aufgrund klimatischer Veränderungen gemacht werden.

7 Zusammenfassung der Potenziale

Die im Rahmen des Projektes INOLA durchgeführte Potenzialanalyse Erneuerbarer Energien für die Region Energiewende Oberland zeigt einerseits die zu erwartende Entwicklung des künftigen Strom- und Wärmebedarfs und andererseits weitere Möglichkeiten der Energieerzeugung mit erneuerbaren Technologien auf. Dabei wurden naturräumliche und rechtliche Gegebenheiten sowie der derzeitige Stand der Technik wie eingangs erläutert berücksichtigt. Zu beachten ist, dass die Potenziale einzelner Energieerzeugungsarten unabhängig voneinander berechnet wurden, so dass eine Aufsummierung nicht möglich ist.

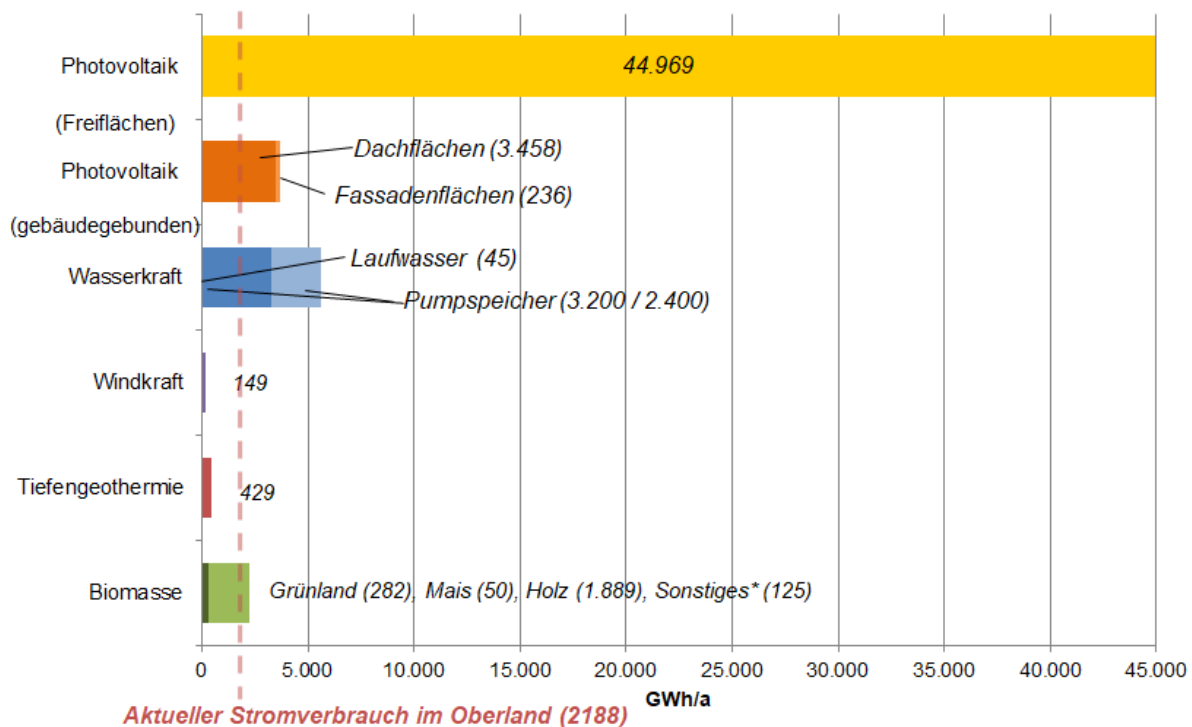
7.1 Potenzial des Stromverbrauchs und der regenerativen Stromerzeugung

Abbildung 7-1 zeigt die Potenziale der jährlichen Stromerzeugung der Erneuerbaren Energieerzeugungsarten in der Region Energiewende Oberland auf. In der Nutzung der Photovoltaik auf Freiflächen sind mit Abstand die größten Chancen vorhanden. Allerdings ist hier von der Nutzung der gesamten zur Verfügung stehenden Fläche, soweit diese naturräumlich und rechtlich praktikabel ist, auszugehen. Dies ist weder realistisch noch nötig, wie der derzeitige (in rot) sowie der potenzielle (türkis) jährliche Stromverbrauch im Jahr 2035 in Abbildung 7-1 zeigt, der heute bei 2,19 TWh_{el} (2014) liegt. Durch die Steigerung der Energieeffizienz werden Faktoren wie eine wachsende Bevölkerung, zunehmende Vernetzung oder eine Ausweitung des GHD Sektors und ein damit verbundener erhöhter Stromverbrauch ausgeglichen, so dass über alle Bereiche (Haushalte, GHD, Industrie und Kommune) von einer leichten Reduzierung um etwa 290 GWh_{el} auf 1,9 TWh_{el} auszugehen ist. Hier entfallen auf den Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen 384 GWh_{el}, auf Miesbach 377 GWh_{el} und auf Weilheim-Schongau 1.139 GWh_{el}, wie Abbildung 7-2 zeigt.

Stellt man den Stromverbrauch dem Potenzial gegenüber, das sich aus der Nutzung der Dach- und Fassadenflächen für Photovoltaik ergibt, so zeigt sich, dass man hier, einen großen Schritt in Richtung des Ziels, bis zum Jahr 2035 unabhängig von fossilen Energieträgern zu sein, machen könnte, auch wenn dazu zahlreiche kleinere Anlagen und eine Nutzung aller zur Verfügung stehenden Dachflächen im Vergleich zur Nutzung der größeren Freiflächenanlagen nötig wären. Aufgrund der derzeit geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen sind kaum Flächen zur Nutzung für Windkraft in der Region vorhanden, so dass sich hier ein relativ geringes Potenzial ergibt. Durch eine Änderung des Regionalplanes allerdings könnte man auch mit dieser Technologie einen wesentlichen Beitrag zum Ziel leisten (siehe Kapitel 0).

Die Nutzung der Wasserkraft leistet bereits heute einen beachtlichen Beitrag zur Stromerzeugung in der Region aufgrund der naturräumlich günstigen Voraussetzungen sowie der historisch seit langem etablierten Technologie, die die sich bietenden räumlichen Optionen sehr gut nützt. Deshalb ist hier das Potenzial für eine weitere Verwertung der Fließgewässer gering. Allerdings könnte man an möglichen Standorten mit Pumpspeicherkraftwerken in der Region sehr viel Strom produzieren und hätte

hier den Vorteil der Speicherung und damit Steuerung im Gegensatz zur Abhängigkeit von der Volatilität der Stromproduktion mit Wind und Sonne. Diesen Vorteil bietet auch die Biomasse, die - ebenfalls unter der Annahme, dass die kompletten Grünland- sowie Maisflächen genützt werden - den Stromverbrauch der Region decken könnte. Schließlich kann die Tiefengeothermie noch einen Beitrag leisten und maximal etwa ein Viertel des derzeitigen Verbrauchs abdecken.



* Klärgas, Straßenbegleitgrün, Tierexkremente

© LMU München, INOLA 2019

Abbildung 7-1: Potenzial Erneuerbarer Energien für die Stromproduktion pro Jahr in der Region Energiewende Oberland im Vergleich zum derzeitigen und potenziellen Stromverbrauch im Jahr 2035.

Diese Potenziale teilen sich nicht gleichmäßig auf die Region auf, sondern sind aufgrund der unterschiedlichen naturräumlichen sowie rechtlichen (z.B. Schutzgebiete) Voraussetzungen in den Landkreisen unterschiedlich stark ausgeprägt. So bestehen im Landkreis Weilheim-Schongau große Möglichkeiten für die Nutzung von Biomasse sowie Photovoltaik, während im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen die größten Potenziale für die Nutzung der Wasserkraft existieren. Im Landkreis Miesbach gibt es das größte Potenzial für die Windkraft. Da sich das Ziel der Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern 2035 auf die Gesamtregion bezieht, sind hier Wechselbeziehungen zwischen den Landkreisen denkbar, um das Ziel in der gesamten Region Energiewende Oberland zu erreichen.

Durch die erwähnte mehrfache Nutzung der Flächen in der Analyse muss in der Realität gewählt werden, welche Fläche eingesetzt werden soll. Für eine erste Abschätzung wurde aus diesem Grund für die zur Verfügung stehenden Flächen die Technologie mit dem geringsten Ertrag bzw. die Technologie mit dem höchsten Ertrag ausgewählt. Bei der Stromproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen besteht der wesentliche Flächennutzungskonflikt zwischen Photovoltaik-Freiflächenanlagen und den Acker- und Grünlandflächen als Basis für die Biomasseproduktion. Zur Berechnung des minimalen Potenzials wurde angenommen, dass auf landwirtschaftlichen Flächen ausschließlich Biomasse erzeugt

wird und die Photovoltaik auf die zur Verfügung stehenden Dach- und Fassadenflächen beschränkt ist. Unter diesen Annahmen ergibt sich ein Gesamtpotential von 5,72 TWh_{el}/a zur Stromerzeugung, zu dem die Photovoltaik 1,48 TWh_{el}/a und die Biomasse 3,56 TWh_{el}/a beitragen würden. Wind würde bei diesem Szenario mit 95 GWh_{el}/a beitragen, während Geothermie unabhängig von Flächenkonflikten mit 437 GWh_{el}/a eingeht und Wasserkraft mit 155 GWh_{el}/a.

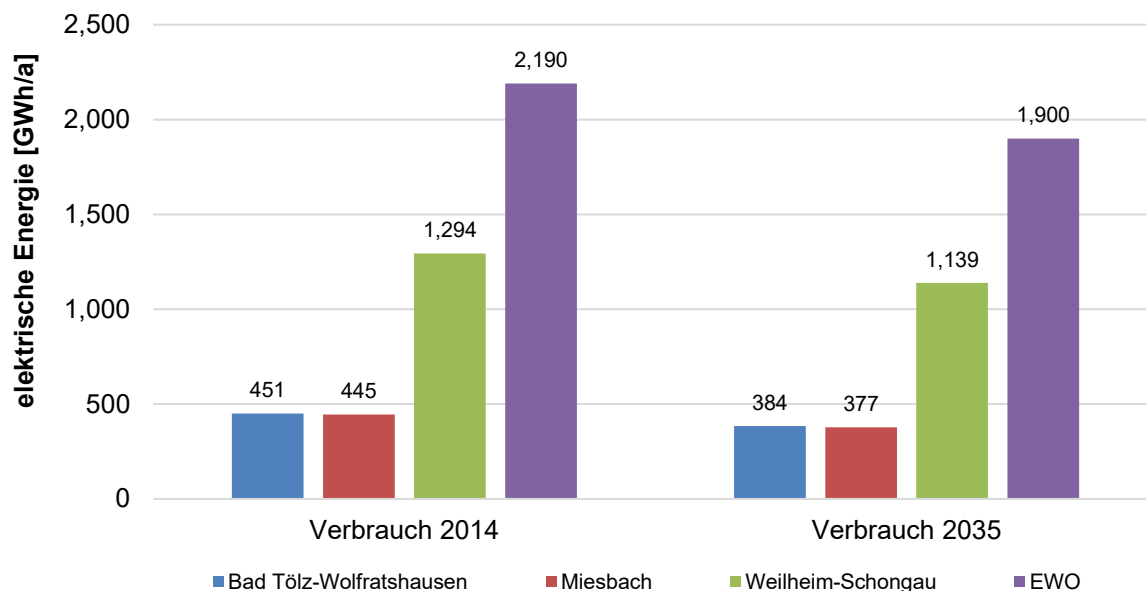


Abbildung 7-2: Gegenüberstellung des Stromverbrauchs im Jahr 2014 und im Jahr 2035 für die einzelnen Landkreise und die gesamte Region Energiewende Oberland.

Beim Maximal-Szenario wird auf den landwirtschaftlichen Flächen ausschließlich die Freiflächen-Photovoltaik statt der Biomasse eingesetzt. Bei der Windkraft werden zudem auch von der 10 H-Regelung betroffene Flächen berücksichtigt. In Summe ergibt sich beim Maximal-Szenario mit 25,48 TWh_{el}/a ein wesentlich höheres Stromerzeugungspotenzial als beim Minimal-Szenario. Es liegt damit in etwa um den Faktor vier höher als beim Minimal-Szenario. Im Maximal-Szenario werden 22,98 TWh_{el} durch Freiflächen-PV erzeugt, was für die Biomasseerzeugung eine Reduzierung auf 21 GWh_{el}/a durch Stromerzeugung allein aus Straßenbegleitgrün und Tierexkrementen zur Folge hat. Da bei der Windkraft im Maximal-Szenario die 10 H-Regelung entfällt, steht hier ein Potenzial von 402 GWh_{el}/a zur Verfügung. Das restliche Potenzial verteilt sich unverändert auf die Geothermie und die Wasserkraft. Die Differenz zwischen dem minimalen und maximalen Potenzial beträgt somit 19,76 TWh_{el}/a.

7.2 Potenzial des Wärmebedarfs und der regenerativen Wärmeerzeugung

Bei Wärme stellt sich die Situation in der Region Energiewende Oberland etwas anders dar. Das Potenzial von Solarthermie, Biomasse und Geothermie (siehe Abbildung 7-3) zeigt, dass auch im Bereich der Wärme ein großer Schritt zur Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern gemacht werden kann. Jedoch ist hier gleichzeitig eine Reduzierung des aktuellen Wärmebedarfs (Abbildung 7-3, gestrichelte Linie in rot) nötig. Nach den Berechnungen (siehe Kapitel 5) ist von einer deutlichen Verringerung bis

zum Jahr 2035 (gestrichelte Linie in türkis) auszugehen. So wird aufgrund von steigenden Effizienzanforderungen an *Weißer Ware* Produkte sowie steigende Anforderungen an den Energieverbrauch von Gebäuden und Verbesserungen ihres Heizenergiebedarfs durch Sanierung in den Bereichen private Haushalte (HH) sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Industrie eine Einsparung von 5,53 TWh_{th} um 33 % auf 3,72 TWh_{th} bis 2035 prognostiziert. Dabei sind auch gegenläufige Tendenzen wie z. B. eine Vergrößerung der Wohnfläche pro Einwohner berücksichtigt. Abbildung 7-4 zeigt den heutigen sowie den künftigen Wärmebedarf für die Region und die drei Landkreise, der für den Landkreis Weilheim-Schongau mit 1.279 GWh_{th}, für den Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen mit 827 GWh_{th} und für den Landkreis Miesbach mit 1.279 GWh_{th} für das Jahr 2035 berechnet wurde.

Die einzelnen Potenziale der Erneuerbaren Energien zur Deckung des Wärmebedarfs wurden ohne Ausschluss einer Nutzungskonkurrenz von Strom- und Wärmeerzeugung durchgeführt, so dass hier die jeweilige Technologie für sich betrachtet wurde und beispielsweise die Dachflächen neben der Solarthermie auch für Photovoltaik genutzt werden könnten. Wie Abbildung 7-3 zeigt, könnte man unter Nutzung aller Dachflächen theoretisch drei Viertel des heutigen Wärmebedarfs abdecken und bei den anzunehmenden Einsparungen im Bedarf noch einen deutlich größeren Anteil abdecken. Hier ist allerdings die Volatilität und damit die Speicherproblematik nicht zu vernachlässigen.

Das größte Potenzial mit insgesamt 6,67 TWh_{th}/a besteht in der Nutzung der Biomasse, die sich in feste Biomasse, wie beispielsweise Waldholz, sowie in Biomasse zur Methanisierung, wie beispielsweise Grünland und Gülle untergliedert. Das in Kapitel 6.6.4 ermittelte Waldholzpotenzial verteilt sich hier entsprechend der Flächenanteile zu 40 % auf Staats- und Kommunalwald und zu 60 % auf Privat- und Körperschaftswälder. Zu beachten ist, dass bei der Biomasse keine Nutzungskonkurrenz zwischen Strom und Wärme vorliegt, da über die Kraft-Wärme-Kopplung beides gleichzeitig erzeugt werden kann. Zwar werden im Bereich der festen Biomasse Pellets, Hackschnitzel und Scheitholz in erster Linie dazu verwendet, um regenerative Wärme zu erzeugen, allerdings gibt es in Einzelfällen auch eine zusätzliche Verstromung, so dass sich die feste Biomasse nahezu aber nicht ausschließlich ohne Nutzungskonkurrenz gestaltet.

Die Geothermie lässt sich dagegen prinzipiell von einer Nutzungskonkurrenz ausschließen, da die Vorkommen unterirdisch sind und in keiner Konkurrenz zu anderen Technologien stehen. Die potenzielle Erzeugung der Geothermie wurde mit 658 GWh_{th}/a berechnet, so dass sich etwa ein Fünftel des gesamten Wärmebedarfs von 2014 abdecken ließe. Neben der thermischen Energieerzeugung sind auch

Querkombinationen, beispielsweise die Wärmebereitstellung mittels regenerativem PV-Strom, denkbar. Diese Querkombinationen wurden innerhalb der Potenzialanalyse jedoch nicht mitberücksichtigt.

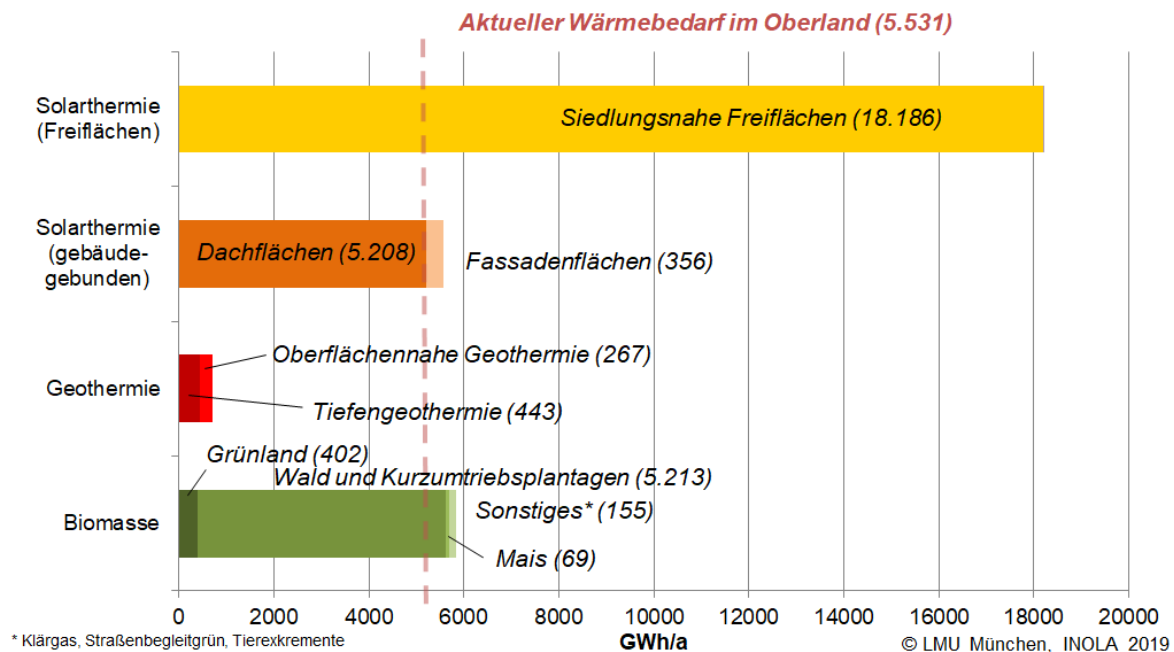


Abbildung 7-3: Potenzial Erneuerbarer Energien für die Wärmeproduktion pro Jahr in der Region Energiewende Oberland im Vergleich zum derzeitigen und potenziellen Wärmebedarf im Jahr 2035.

Durch den Flächennutzungskonflikt zwischen den einzelnen Technologien muss bei mehrfach geeigneten Flächen ausgewählt werden, welche Technologie eingesetzt werden soll. Verglichen mit dem Flächennutzungskonflikt der Stromerzeugung fällt der Flächennutzungskonflikt der Wärmeerzeugung wesentlich geringer aus. Der einzige Konflikt besteht hier auf den Ackerflächen zwischen KUP und Mais. Die Differenz zwischen dem minimalen (Nutzung der Ackerflächen für KUPs) und maximalen Potenzial (Nutzung der Ackerflächen für Mais) ist verglichen mit der Differenz der Stromerzeugung sehr gering und beträgt lediglich 244 GWh/a.

Zusammenfassend lässt sich aus der Potenzialanalyse Erneuerbarer Energien in der Region Energiewende Oberland schließen, dass das Ziel, 2035 unabhängig von fossilen Energieträgern zu sein, erreicht werden kann. Allerdings reicht allein die Nutzung der in der Region zur Verfügung stehenden Möglichkeiten vor allem im Bereich Wärme nicht aus. Hier ist zusätzlich eine Einsparung des Bedarfs notwendig und erscheint auch realisierbar. Außerdem kann durch die Kooperation der drei Landkreise mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften und den sich daraus ergebenden Potenzialen ebenfalls ein wichtiger Schritt zum Erreichen des Ziels getan werden. Schließlich ist die Volatilität der einzelnen Energieträger einerseits und auch die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen des Energiebedarfs andererseits zu bedenken. Eine Analyse von Speichermöglichkeiten, der Nutzung intelligenter Netze (z. B. virtuelle Netze) und weiterer neuer Technologien sowie ihrer Dimensionierung muss und wird im weiteren Projektverlauf von INOLA durchgeführt werden. Basierend auf den Ergebnissen sollen dann gemeinsam

mit und für die Region Energiewende Oberland Optionen zur Erreichung des 2035-Zieles erarbeitet werden.

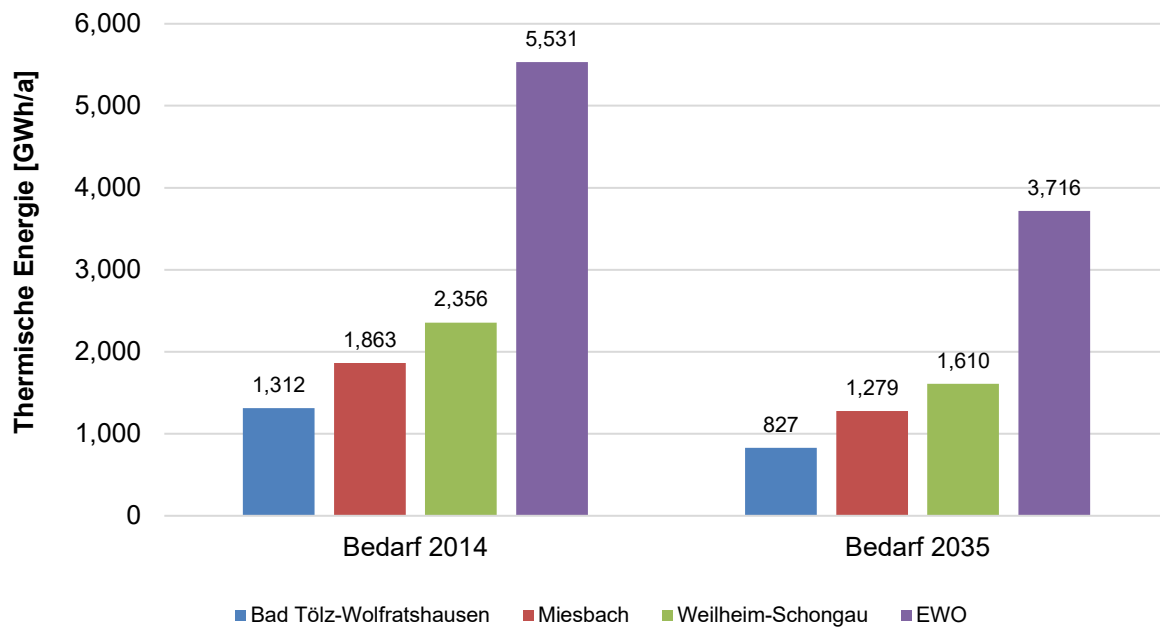


Abbildung 7-4: Gegenüberstellung des Wärmebedarfs im Jahr 2014 und im Jahr 2035 für die einzelnen Landkreise und die gesamte Region Energiewende Oberland.

Literaturverzeichnis

- ADV 2015A: Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS). Online erhältlich unter (Zugriffsdatum:
- ADV 2015B: DEUTSCHLAND., A. D. V. D. L. D. B. (Eds.) ALKIS ®. Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.
- B.A.U.M CONSULT GMBH 2013: Integriertes Klimaschutzkonzept für den Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen. München.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND MEDIEN ENERGIE UND TECHNOLOGIE 2014: (Eds.) Bayerischer Windatlas.
- BAYERNWERK 2014: (Eds.) Einspeiser-Daten der INOLA-Region. Unveröffentlichte Excel-Datei. Bad Tölz, Miesbach, Weilheim i. OB.
- BAYLFL 2015: Biogasausbeuten verschiedener Substrate. Online erhältlich unter <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/index.php> (Zugriffsdatum: 01.09.2015).
- BAYLFSTAD 2015A: GENESIS-Online Datenbank (Datensätze). Online erhältlich unter <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/> (Zugriffsdatum: 15.05.2015).
- BAYLFSTAD 2015B: Statistik kommunal 2014. Landkreis Miesbach. 09 182. Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten. Online erhältlich unter <https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/09182.pdf> (Zugriffsdatum: 15.05.2015)
- BAYLFSTAD 2015C: Statistik kommunal 2014. Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen. 09 173. Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten. Online erhältlich unter <https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/09173.pdf> (Zugriffsdatum: 15.05.2015)
- BAYLFSTAD 2015D: Statistik kommunal 2014. Landkreis Weilheim-Schongau. 09 190. Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten. Online erhältlich unter <https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/09190.pdf> (Zugriffsdatum: 15.05.2015)
- BAYLFSTAD 2015E: (Eds.) Landwirtschaftszählung - Haupterhebung, allg. Ldw. Fläche (ha): Berichtsjahr: 2010. - Agricultural Census - main survey, general agricultural area [ha]: Report Year: 2010. Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung - Bavarian State Office for Statistics and Data Processing.
- BAYLFSTAD 2015F: Landwirtschaftszählung - Haupterhebung, allg. Ldw. Kreise, Betriebe mit Viehhaltung, Großvieheinheiten, Viehbestand, Tierarten, Stichtag - Agricultural Census - main survey, general agricultural districts, livestock farms, livestock unit, livestock numbers, livestock species, record date. Online erhältlich unter www.statistikdaten.bayern.de (Zugriffsdatum: 15.05.2015)
- BAYSTMELF 2014: (Eds.) Umbruch von Dauergrünland genehmigungspflichtig.
- BAYSTMI 2014: Solarflächenkataster Stadt und Landkreis Bamberg. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr.
- BAYSTMUV; BAYSTMWIVT UND BAYSTMI 2011: Leitfaden Energienutzungsplan - Guidelines Energy Use Plan. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern - Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection; Bavarian State Ministry for

- Economy, Infrastructure, Traffic and Technology; Bavarian Ministry of the Interior, for Building and Transport.
- BAYSTMUV; BAYSTMWIVT; E.ON UND BEW 2006: Nachhaltige Wasserkraftnutzung an staatlichen Gewässern in Bayern - Eckpunktepapier. Vereinbarung zwischen dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie und der E.ON Wasserkraft GmbH, der BEW Bayerische Elektrizitätswerke GmbH und den von ihnen vertretenen Wasserkraftunternehmen, vom 09. November 2006.
- BAYSTMWi 2014A: Bayerischer Windatlas - Bavarian Wind Atlas. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie - Bavarian State Ministry of Economics and Media, Energy and Technology. Online erhältlich unter www.geoportal.bayern.de/energieatlas-karten (Zugriffsdatum: 28.07.2017).
- BAYSTMWi 2014B: Energie-Atlas Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie. Online erhältlich unter www.geoportal.bayern.de/energieatlas-karten (Zugriffsdatum: 20.11.2015).
- BAYSTMWi 2016A: E-Mail-Conversation with Rainer Zimmer. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie; Referat 86 - Bavarian State Ministry of Economics and Media, Energy and Technology; Department 86. Online erhältlich unter (Zugriffsdatum: 20.01.2016).
- BayStMWi 2016b. Erteilte Erlaubnisse und Bewilligungen für Erdwärme in Südbayern - Grants and Permits for Geothermal Energy in Southern Bavaria. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie; Referat 86 - Bavarian State Ministry of Economics and Media, Energy and Technology; Department 86.
- BAYSTMWIVT 2010: Bayerischer Solaratlas. Solare Energiegewinnung - Bavarian Solar Atlas. Solar Energy Production. Munich: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie - Bavarian State Ministry for Economy, Infrastructure, Traffic and Technology.
- BAYSTMWIVT 2011: Bayerisches Energiekonzept "Energie innovativ". München: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie.
- BAYSTMWIVT 2012: Bayerischer Geothermieatlas. Hydrothermale Energiegewinnung. München: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie.
- BAYSTMWIVT 2013: Landesentwicklungsprogramm Bayern, Anhang 3 (zu 2.3.3): Alpenplan - Regional Development Programme Bavaria, Appendix 3 (to Section 2.3.3): Alpine Plan. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie - Bavarian State Ministry for Economy, Infrastructure, Traffic and Technology.
- BBK; THW; DWD UND UBA 2012: Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Deutscher Wetterdienst, Umweltbundesamt.
- BERKHOUT, V.; FAULSTICH, S.; GÖRG, P.; HAHN, B.; LINKE, K.; NEUSCHÄFER, M.; PFAFFEL, S.; RAFIK, K.; ROHRIG, K. UND ROTHKEGEL, R. 2014: Windenergiereport Deutschland 2014. Online erhältlich unter http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/opencms/export/sites/windmonitor/img/Windenergie_Report_2014.pdf (Zugriffsdatum: 30.09.2015).
- BKG 2008: (Eds.) ATKIS ®, DLM1000. Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem. - Official Topographical-Cartographical Information System.

- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie - Federal Office of Cartography and Geodesy.
- BLANDOW, V.; WEINDORF, W.; ZERTA, M. UND ZITTEL, W. 2010: Klimaschutzkonzept für den Landkreis Weilheim-Schongau. Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH.
- BLFD 2012: Beratungsrichtlinie 01/2012. Erneuerbare Energien. Solarthermie, Photovoltaik, Windkraft, Geothermie und Energie aus Biomasse in denkmalgeschützten Bereichen. München: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege.
- BLFD 2015: (Eds.) Denkmaldaten - Monument Data. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege - Bavarian State Office for the Preservation of Monuments, Munich.
- BMEL 2014: Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online erhältlich unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?__blob=publicationFile (Zugriffsdatum: 15.12.2015).
- BMWi 2015: Solarenergie. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online erhältlich unter <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Solarenergie/solarenergie.html> (Zugriffsdatum: 04.08.2015).
- BUNDESVERBAND GEOTHERMIE 2015: Einstieg in die Geothermie. Online erhältlich unter <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/einstieg-in-die-geothermie.html> (Zugriffsdatum: 03.08.2015).
- DENA 2012: Energieeffizienz-Verpflichtungssysteme (EnEffVSs). Essen: Deutsche Energieagentur.
- DESTATIS 2011: Zensus. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- DIRK, W. 2013: Streit ums Kraftwerk: Jochberg ein "Nochberg"? In Münchener Merkur. Online erhältlich unter <http://www.merkur.de/lokales/bad-toelz/bad-toelz/jochberg-streit-pumpspeicherkraftwerk-3090220.html> (Zugriffsdatum: 04.09.2015).
- DIW 2016: Energieflussbild der Bundesrepublik Deutschland. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.
- DWD 2012: Globalstrahlung. Die Energie der Sonne - Global radiation. The energy of the sun. Deutscher Wetterdienst - German Meteorological Service.
- DWD 2015: Klimadaten Deutschland. Messstationen. Monatswerte - Climate Data Germany. Stations. Monthly values. Deutscher Wetterdienst - German Meteorological Service. Online erhältlich unter http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T82002qsbDocumentPath=Navigations%2FOeffentlichkeit%2FKlima_Umwelt%2FKlimadaten%2Fkldaten_kostenfrei%2Fausgabe_monatswerte_node.html%3F_nnn%3Dtrue (Zugriffsdatum: 9.6.2015).
- E.ON; BEW 2009: Potentialstudie "Ausbaupotentiale Wasserkraft in Bayern". Bericht aus Sicht der beiden großen Betreiber von Wasserkraftanlagen in Bayern. E.ON Wasserkraft GmbH, Landshut; Bayerische Elektrizitätswerke GmbH, Augsburg.
- ELEKTRIZITÄTWERKE BÖBING E.G. 2013/2014: Einspeiser-Daten der INOLA-Region. Unveröffentlichte Excel-Datei. Bad Tölz, Miesbach, Weilheim i.OB.
- ELEKTRIZITÄTWERKE TEGERNSEE 2014: Einspeiser-Daten der INOLA-Region. Unveröffentlichte Excel-Datei. Bad Tölz, Miesbach, Weilheim i.OB.
- ENERGYMAP 2015: Anlagen zur Produktion Erneuerbarer Energien (Datensatz) - Renewable energy production plants (dataset). Online erhältlich unter

- <http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105/111/166.html> (Zugriffsdatum: 07.05.2015).
- EU 2000: Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- EU: Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung).
- EU: Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG.
- EVA GMBH 2015: Wertstoffhöfe und Grüngutsammelstellen. Online erhältlich unter <http://eva-abfallentsorgung.de/wertstoffhoefe-recyclinghoefe-gruengutsammelstellen-landkreis-weilheim-schongau.html> (Zugriffsdatum: 06.10.2015).
- FNR 2014: Basisdaten Bioenergie Deutschland 2014 - Base data bioenergy in Germany 2014. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V.
- FRADJ, N. B. F.; LÖWNER, M.-O. 2012: Abschätzung des nutzbaren Dachflächenanteils für Solarenergie mit CityGML-Gebäudemodellen und Luftbildern. Braunschweig: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie TU Braunschweig.
- FRAUNHOFER ISE 2017: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Berlin: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.
- GANSER, G. 2015: MAIER, A. (Eds.) Interview mit Gerhard Ganser von der WGV Recycling GmbH am 10.11.2015.
- GEMEINDEWERKE HOLZKIRCHEN 2014: Einspeiser-Daten der INOLA-Region. Unveröffentlichte Excel-Datei. Bad Tölz, Miesbach, Weilheim i.OB.
- GEMEINDEWERKE PEIßENBERG 2014: Einspeiser-Daten der INOLA-Region. Unveröffentlichte Excel-Datei. Bad Tölz, Miesbach, Weilheim i.OB.
- GÜNTHER, M. 2015. Energieeffizienz im regenerativ basierten Energiesystem. In: (Eds.): Energieeffizienz durch Erneuerbare Energien. Springer, 163-171.
- HARTMANN, S.; DIEPOLDER, M. UND LICHTI, F. 2011: Grünland als Biogassubstrat - Grassland as substrate for biogas. *Biogas Fachforum Bayern Nr. 1* 12/2011.
- INSTITUT WOHNEN UND UMWELT 2015: Deutsche Wohngebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Darmstadt.
- KALTSCHMITT, M.; STREICHER, W. UND WIESE, A. (Hrsg.) 2013: Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 5. Auflage. Berlin: Springer Verlag.
- KLIMAKOM E.G; GREEN CITY ENERGY AG 2011: Integriertes kommunales Klimaschutzkonzept Landkreis Miesbach. München.
- KNOPP, C. 2015: MAIER, A. (Eds.) Interview mit Claudia Knopp von der Erbenschwanger Verwertungs- und Abfallentsorgungsgesellschaft mbH am 04.11.2015.
- KRZIKALLA, N.; ACHNER, S. UND BRÜHL, S. 2013: Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien: Studie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie. Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.
- LDBV 2015A: Kundeninformation LoD2. Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Online erhältlich unter http://www.vermessung.bayern.de/geobasis_lvq/3DGebaeude/lod2.html (Zugriffsdatum: 04.10.2015).

- LDBV 2015B: (Eds.) Digitales Geländemodell 25 m (Datensatz) - Digital Elevation Model 25 m (dataset). Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung - Bavarian Agency for Digitisation, High-Speed Internet and Surveying.
- LDBV 2015C: (Eds.) 3D-Gebäudemodell LoD2 (Datensatz) - 3D-Building Model LoD2 (dataset). Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung - Bavarian Agency for Digitisation, High-Speed Internet and Surveying.
- LDBV 2015D: Digitales Orthophoto 2 m Bodenauflösung (Datensatz). Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung. Online erhältlich unter www.geodaten.bayern.de (Zugriffsdatum: 15.05.2015)
- LECHELER, S. 2012: Potentialstudie Geothermie im Gebiet "Energiewende Oberland" - Study of geothermal potential in the region "Energiewende Oberland". Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Maschinenbau, Technische Thermodynamik (MB5/1) - University of the Federal Armed Forces Munich, Faculty of Mechanical Engineering, Technical Thermodynamics (MB 5/1).
- LECHWERKE 2014: Einspeiser-Daten der INOLA-Region. Unveröffentlichte Excel-Datei. Bad Tölz, Miesbach, Weilheim i.OB.
- LFU 2012: (Eds.) Querbauwerke - Transverse structures. Bayerisches Landesamt für Umwelt - Bavarian environment agency, www.lfu.bayern.de.
- LFU 2014A: Analyse der Pumpspeicherpotentiale in Bayern - Endbericht. Online erhältlich unter http://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwivt/Themen/Energie_und_Rohstoffe/Dokumente_und_Cover/2014-Pumpspeicher-Potenzialanalyse.pdf (Zugriffsdatum: 01.08.2015).
- LFU 2014B: Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Practical guide for the ecological design of photovoltaic open space systems. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt - Bavarian environment agency, www.lfu.bayern.de.
- LFU 2014C: Energie-Atlas Bayern: Mischpult "Energienmix in Bayern vor Ort". Information zur Berechnung - Energy-Atlas Bavaria: "Energy mix in Bavaria on the spot". Calculation information. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de.
- LFU 2015A: (Eds.) Bayerisches Fachinformationssystem Naturschutz. Ökoflächenkataster - Bavarian specialized information system nature conservation. Ecological area mapping Bavaria. Bayerisches Landesamt für Umwelt - Bavarian environment agency, www.lfu.bayern.de/Augsburg.
- LFU 2015B: (Eds.) Gewässernetz. Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de.
- LFU 2015C: (Eds.) Schutzgebiete: Abgrenzungen - Protection areas: Boundaries. Bayerisches Landesamt für Umwelt - Bavarian environment agency, www.lfu.bayern.de/Augsburg.
- LFU 2015D: Geodatendienste, Natur (Datensätze) - Geodata services, Nature (datasets). Bayerisches Landesamt für Umwelt - Bavarian environment agency, www.lfu.bayern.de. Online erhältlich unter http://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index_download.htm (Zugriffsdatum: 02.02.2015).
- LFU 2015E: (Eds.) Geotope - Geotopes. Bayerisches Landesamt für Umwelt - Bavarian environment agency, www.lfu.bayern.de/Augsburg.
- LFU 2015F: (Eds.) Bayerisches Fachinformationssystem Naturschutz. Biotopkartierung Bayern - Bavarian specialized information system nature conservation. Biotope mapping Bavaria. Bayerisches Landesamt für Umwelt - Bavarian environment agency, www.lfu.bayern.de/Augsburg.

- LFU 2015G: (Eds.) Hochwassergefahrenflächen und Überschwemmungsgebiete. Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de.
- LÜTKEHUS, I.; ADLUNGER, K. UND SALECKER, H. 2013: Potenzial der Windenergie an Land: Studie zur Ermittlung des Bundesweiten Flächen-und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, Germany.
- LWF 2005: Holzaufkommensprognose für Bayern. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).
- LWF 2014A: Die Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012 für das Bundesland Bayern - Results of the Federal Forest Inventory 2012 for the Province Bavaria. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - Bavarian State Institute of Forestry. Online erhältlich unter <http://www.bundeswaldinventur.bayern.de> (Zugriffsdatum: 08.01.2016).
- LWF 2014B: Der Holzeinschlag 2011 in Bayern. *LWF aktuell*, 92, 29-31.
- LWF 2015: KUP Scout II in Bayern: Potentialkarten für Kurzumtriebsplantagen - KUP Scout II in Bavaria: Potential maps for short-rotation plantations. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - Bavarian State Institute of Forestry. Online erhältlich unter <http://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassenutzung/095992/index.php> (Zugriffsdatum: 01.12.2015).
- MAUSER, W.; BACH, H. 2009: PROMET—Large scale distributed hydrological modelling to study the impact of climate change on the water flows of mountain watersheds. *Journal of Hydrology*, 376(3), 362-377.
- MAUSER, W.; PRASCH, M. 2015: Region Assessment of Global Change Impacts. The Project GLOWA-Danube. Springer International Publishing.
- MEYER, R.; GRUNWALD, A.; RÖSCH, C. UND SAUTER, A. 2007: Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen. *Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Arbeitsberichte*, (121).
- NAKICÉNOVIC, N.; DAVIDSON, O.; DAVIS, G.; GRÜBLER, A.; KRAM, T.; ROVERE, E. L. L.; METZ, B.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; SANKOVSKI, A.; SHUKLA, P.; SWART, R.; WATSON, R. UND DADI, Z. 2000: IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge: IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.
- NISCHLER, G.; MAYER, C.; MAIER, K. UND STIGLER, H. 2011: GIS-basierte Potentialanalyse der Wasserkraft. 7. *Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien*.
- PEHNT, M.; ARENS, M.; DUSCHA, M.; EICHHAMMER, W.; FLEITER, T.; GERSPACHER, A.; IDRISOVA, F.; JESSING, D.; JOCHEM, E.; KUTZNER, F.; LAMBRECHT, U.; LEHR, U.; LUTZ, C.; PAAR, A.; REITZE, F.; SCHLOMANN, B.; SEEFELDT, F.; THAMLING, N.; TORO, F.; VOGT, R.; WENZEL, B. UND WÜNSCH, M. 2011: Endbericht Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative. Heidelberg, Karlsruhe, Berlin, Osnabrück, Freiburg.
- PELIKAN, B. 2009: Technologie und konzeptive Entwicklungen in der Kleinwasserkraft. *Elektrotechnik & Informationstechnik*, 126(12), 427-431.
- PROGNOS AG; EWI UND GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Basel, Köln, Osnabrück: Prognos AG, EWI-Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS).
- RÖSCH, C. 1996: Vergleich stofflicher und energetischer Wege zur Verwertung von Bio- und Grünabfällen - Comparison of material and energy sources for the recycling of organic and green waste. Karlsruhe Institute of Technology (KIT).
- SCHIER, M.; STEPPAN, A. 2014: Aus für Pumpspeicher-Kraftwerk am Jochberg. In: Münchener Merkur. Online erhältlich unter <http://www.merkur.de/lokales/bad->

toelz/lenggries/pumpspeicher-kraftwerk-jochberg-3837508.html
(Zugriffsdatum: 25.08.2015).

STW TÖLZ 2014: Einspeiser-Daten der INOLA-Region. Unveröffentlichte Excel-Datei. Bad Tölz, Miesbach, Weilheim i.OB: Stadtwerke Bad Tölz.

THÖMING, P. D.-I. J. O.J.: Wasser Wissen. Das Internetportal für Wasser und Abwasser. Biogas, Klärgas, Sumpfgas, Faulgas. Online erhältlich unter <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/b/biogas.htm> (Zugriffsdatum: 02.12.2015).

VIVO 2015: Entsorgungsmöglichkeiten für haushaltsübliche Mengen. Online erhältlich unter <http://www.vivowarngau.de/index.php?Entsorgung-Wertstoffhof-Bayrischzell> (Zugriffsdatum: 06.10.2015).

WALBERG, D. 2012: Typische Energieverbrauchskenwerte deutscher Wohngebäude. - Typical energy consumption values of German residential buildings. Darmstadt: Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE e.V.) - Institute for Sustainable Constructions.

WESSELAK, V.; VOSWINCKEL, S. 2016: Photovoltaik - Wie Sonne zu Strom wird. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

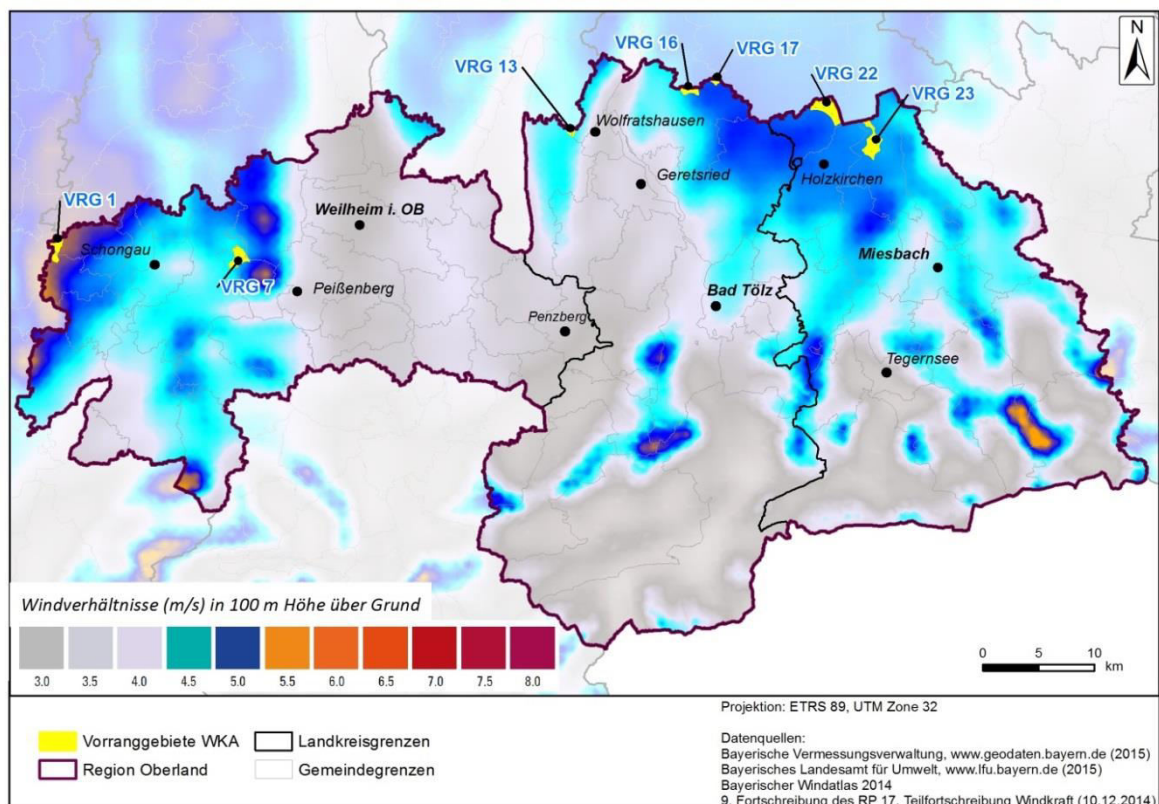
WGC RECYCLING MBH 2015: Speiseöl, Frittierfett. Online erhältlich unter <http://www.wgv-quarzbichl.de/index.php?id=545> (Zugriffsdatum: 06.10.2015).

Anhang

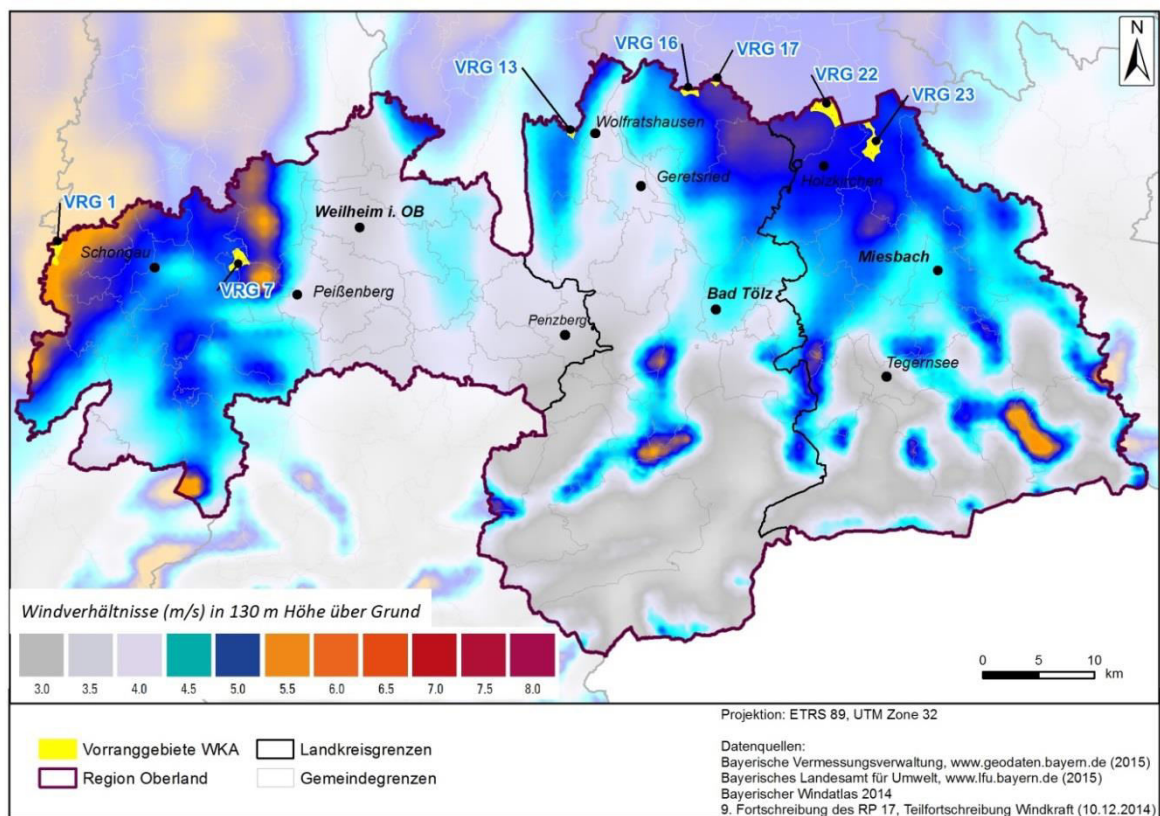
A. 1: Übersicht der Datensätze, die in die Berechnung der Windkraftgebietskulisse „Energiewende Oberland“ eingeflossen sind.

Datensatz	Flächentyp	Schutzabstand	Datenquelle
Siedlung, Infrastruktur, Gewässer			
Wohnbaufläche Ortslage	Ausschluss	800	ATKIS® Basis-DLM
Außenbereichsanswesen	Ausschluss	500	ATKIS® Basis-DLM
Flächen gemischter Nutzung	Ausschluss	500	ATKIS® Basis-DLM
Industrie- und Gewerbeflächen	Ausschluss	300	ATKIS® Basis-DLM
Flächen besonderer funktionaler Prägung	Ausschluss	800	ATKIS® Basis-DLM
Bundesautobahn, Bundes-, Staats—und Kreisstraßen	Ausschluss	150	ATKIS® Basis-DLM
Bahntrassen/Bahnhofsanlagen	Ausschluss	150	ATKIS® Basis-DLM
Flugplätze, Flughäfen	Ausschluss	-	ATKIS® Basis-DLM
Flugeinzugsschneisen	Ausschluss	-	Planungsverband Region Oberland
Hochspannungsfreileitungen, Umspannwerkstandorte	Ausschluss	150	ATKIS® Basis-DLM
Truppen-/Standortübungsplätze	Ausschluss	-	ATKIS® Basis-DLM
Gewässerflächen (1,2 und 3. Ordnung)	Ausschluss	-	ATKIS® Basis-DLM
Naturschutz			
Nationalpark	Ausschluss		LfU Geodatenportal
Landschaftsschutzgebiet	Einzelfall		LfU Geodatenportal
Naturschutzgebiet	Ausschluss		LfU Geodatenportal
FFH-Gebiet	Ausschluss		LfU Geodatenportal
Vogelschutzgebiete	Ausschluss		LfU Geodatenportal
Vogelschutzgebiete-Puffer	Einzelfall	1000	LfU Geodatenportal
Alpenplanzone C	Ausschluss		LfU Geodatenportal
Biotope	Ausschluss		LfU Geodatenportal
Naturdenkmal	Ausschluss		ATKIS® Basis-DLM
Wasserwirtschaft			
Festgesetzte, planreife Wasserschutzgebiete	Ausschluss		LfU Geodatenportal
Festgesetzte, planreife Heilquellenschutzgebiete	Ausschluss		LfU Geodatenportal

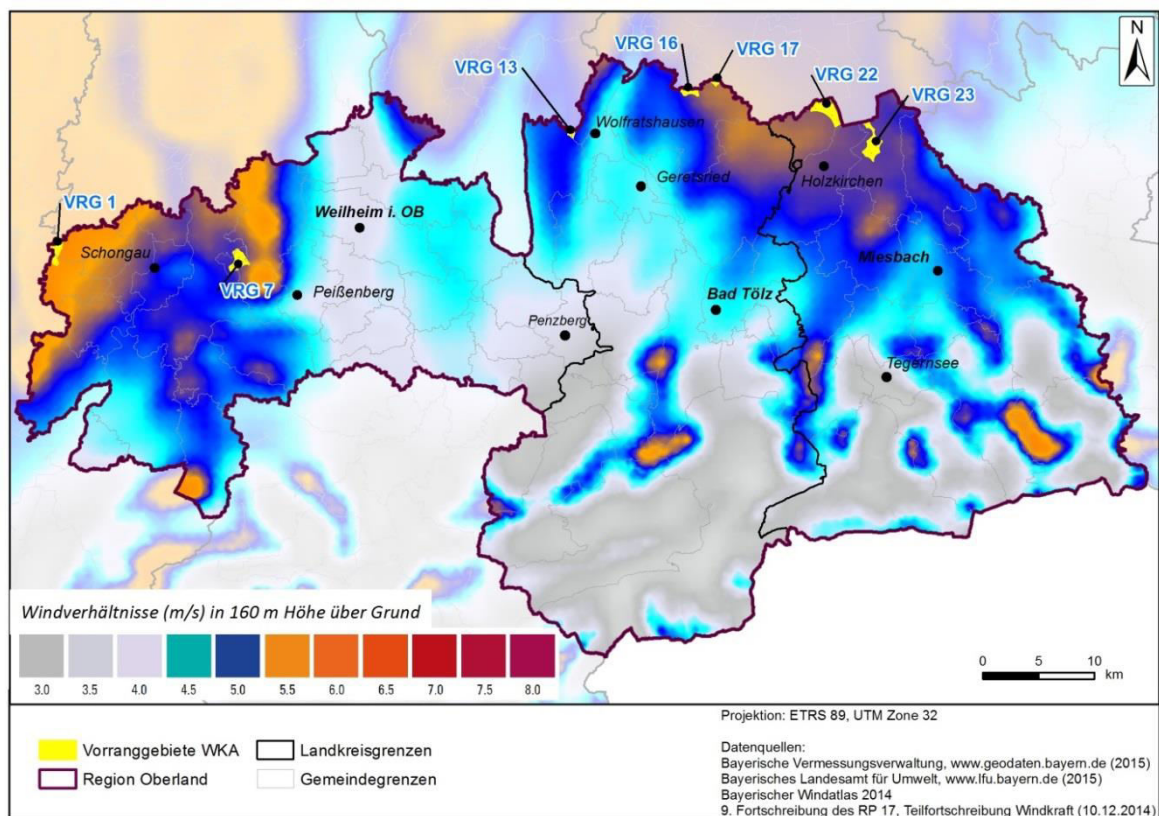
A. 2: Mittlere Windgeschwindigkeiten in 100 m Höhe über Grund und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA).



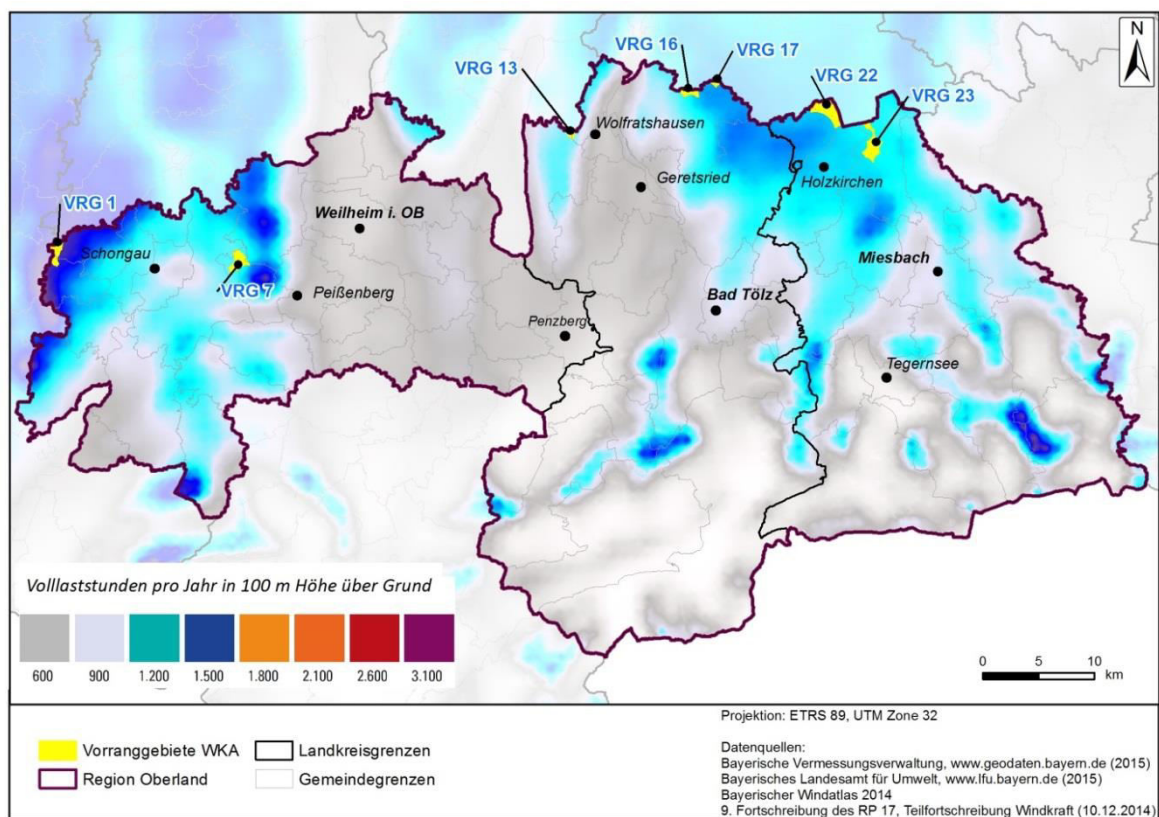
A. 3: Mittlere Windgeschwindigkeiten in 130 m Höhe über Grund und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA).



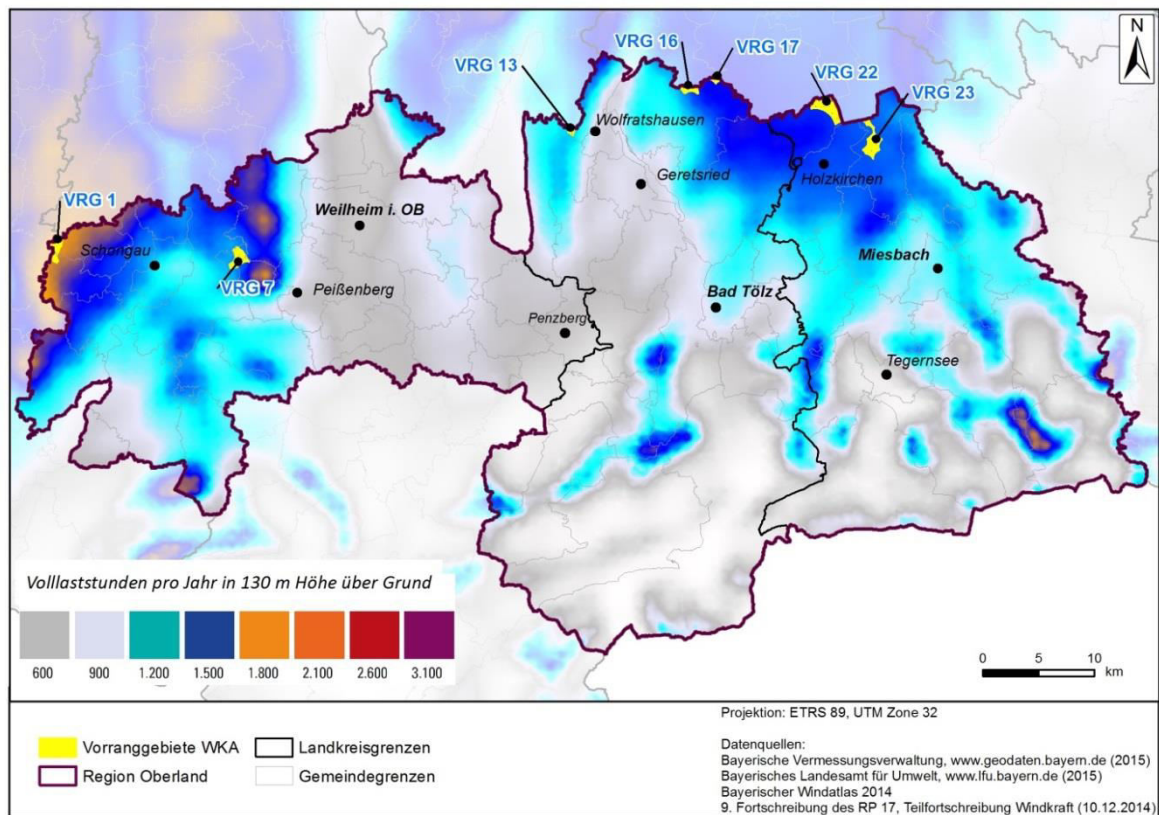
A. 4 Mittlere Windgeschwindigkeiten in 160 m Höhe über Grund und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA).



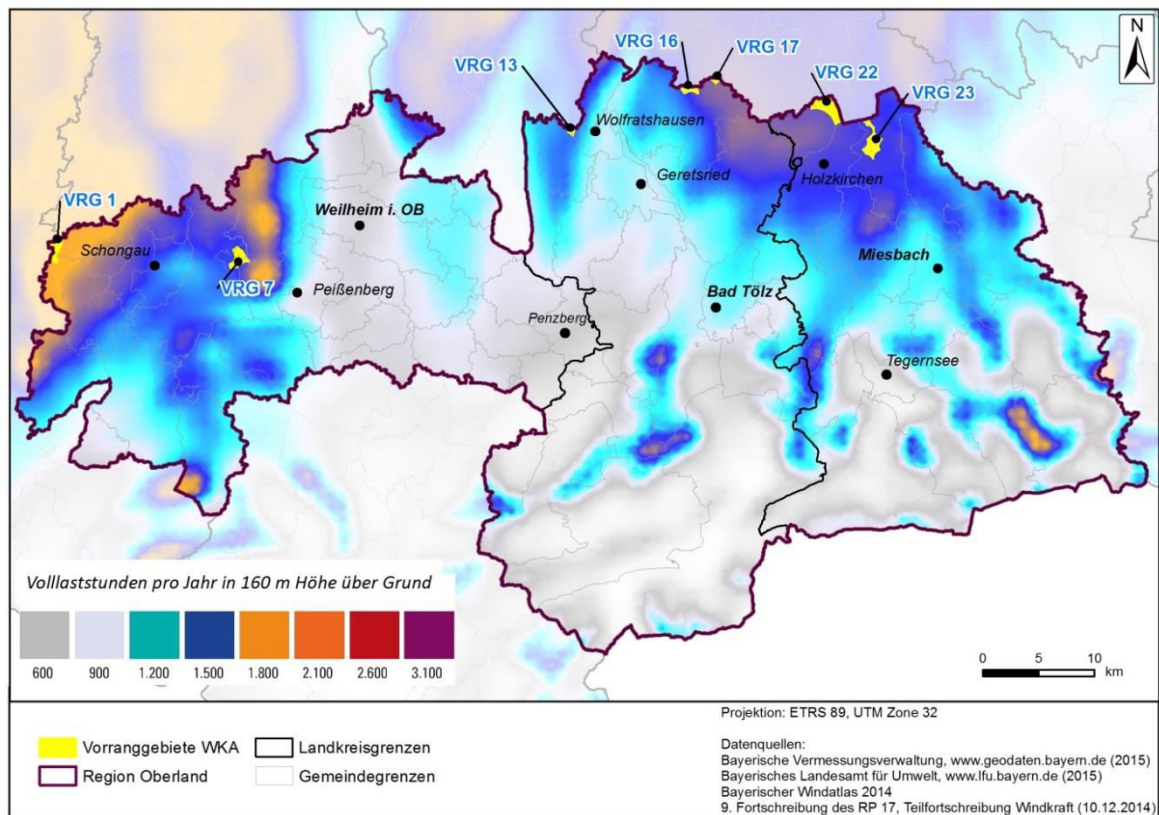
A. 5: Abschätzung der Volllaststunden einer 2-MW-WKA pro Jahr in 100 m Höhe über Grund (Datenbasis: Bayerischer Windatlas 2014) und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA).



A. 6: Abschätzung der Volllaststunden einer 2-MW-WKA pro Jahr in 130 m Höhe über Grund (Datenbasis: Bayerischer Windatlas 2014) und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA). Die Daten zeigen einen generellen Trend und geben nur einen ersten Überblick als Planungshilfe. Sie ersetzen keinesfalls eine Messung am konkreten Einzelstandort.



A. 7: Abschätzung der Volllaststunden einer 2-MW-WKA pro Jahr in 160 m Höhe über Grund (Datenbasis: Bayerischer Windatlas 2014) und Lage der Vorranggebiete (VRG) für Windkraftanlagen (WKA). Die Daten zeigen einen generellen Trend und geben nur einen ersten Überblick als Planungshilfe. Sie ersetzen keinesfalls eine Messung am konkreten Einzelstandort.



A. 8: Leistungskurve der Windkraftanlage, die für die Ertragskarten und den Ertragsindex des Bayerischen Windatlas (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND MEDIEN ENERGIE UND TECHNOLOGIE 2014) genutzt wurde (© shutterstock.com)

