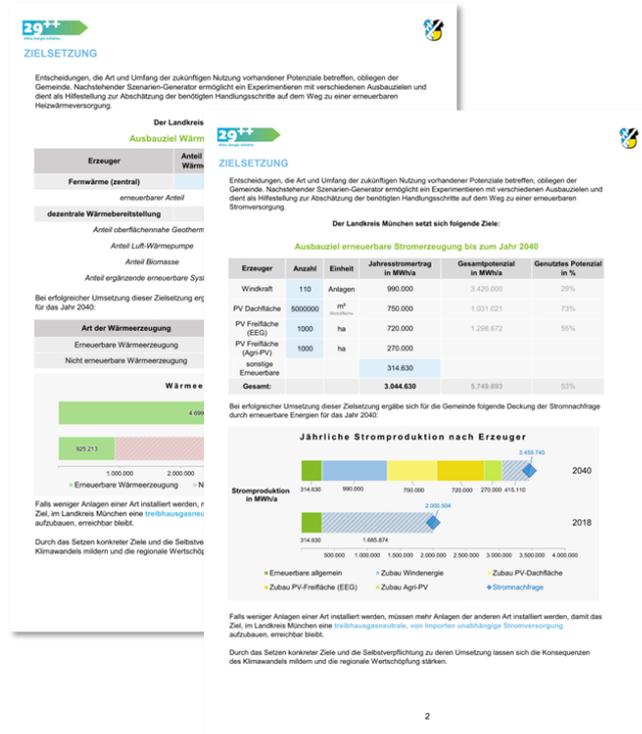


Kurzbericht

Potenzialanalyse und Excel-Tool zur kommunalen THG-Zieldefinition



Stand: 23.01.2023

Ansprechpartner: Dr. Philipp Schramek
Landratsamt München
Referat 3.3 - Energie, Mobilität und verkehrliche Infrastruktur
Frankenthaler Str. 5-9
81539 München
Tel.: +49 89 6221 1957
Mail: philipp.schramek@lra-m.bayern.de

Bearbeitung: ENIANO GmbH
Schwanthalerstr. 73
80336 München
Tel.: +49 89 2154786 0
Mail: info@eniano.com

Inhalt

1. Projekthintergrund.....	1
2. Abbildung des Referenzenergiesystems	2
3. Prognose der Energienachfrage.....	3
3.1. Prognose der demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung.....	3
3.2. Prognose technologischer Entwicklungen und Effizienzsteigerungen.....	4
3.3. Prognose der Energienachfrage.....	5
4. Modellierung der erneuerbaren Energiepotenziale	8
4.1. Potenzial Windenergie	8
4.2. Potenzial Photovoltaik auf Freiflächen (EEG-Kulisse)	9
4.3. Potenzial Photovoltaik auf Freiflächen (Agri-PV)	10
4.4. Potenzial Photovoltaik auf Dachflächen.....	10
5. Definition kommunaler Energieziele	12
5.1. Ausbauziele erneuerbare Stromerzeugung	12
5.2. Ausbauziele erneuerbare Wärmeerzeugung	12
5.3. Resultierende Treibhausgasemissionen.....	16

1. Projekthintergrund

Im Rahmen der Klimainitiative 29++ sind alle 29 Kommunen im Landkreis München aufgerufen, bis Anfang März 2023 eigene Ziele bezüglich der Reduktion von Treibhausgas (THG)-Emissionen zu bestimmen, die dann zusammen betrachtet die neuen THG-Ziele für den Landkreis München ergeben. Auf diese Weise soll nicht nur der THG-Zielwert für 2030 erneuert werden, sondern auch ein Zieljahr für das Erreichen der THG-Neutralität. Es ist geplant, dass bei einer kommunalen Klimakonferenz im Frühjahr 2023 die festgelegten Ziele bekannt geben werden.

Um die Gemeinden und Städte bei einer faktenbasierten Herleitung möglicher THG-Ziele zu unterstützen, hat der Landkreis München Potentialanalysen zur Reduktion verkehrlicher und energetischer Emissionen durchführen und dazugehörige Excel-Tools entwickeln lassen. Diese Tools erlauben es jeder Kommune, mehrere unterschiedliche Szenarien zu untersuchen, die zur THG-Neutralität führen können und die in Bezug auf die Potentiale der jeweiligen Kommune realistisch sind.

Gegenständlicher Bericht bezieht sich auf die Potenzialanalysen sowie das Excel-Tool zur Herleitung der THG-Zieldefinition für den Strom- und Wärmesektor. Er soll einen Überblick zu den Hintergründen der Potenzialanalysen sowie zur Verwendung des erstellten Excel-Tools geben.

2. Abbildung des Referenzenergiesystems

Das sogenannte Referenzenergiesystemmodell (RES) stellt ein Abbild der Ausgangssituation dar, im Sinne der aktuellen Energienachfrage und Energieerzeugung. Das Modell des Referenzenergiesystems orientiert sich dabei an der aktuellen Fassung des Treibhausgasberichtes des Landkreises München aus dem Jahr 2022¹. Für das Basisjahr 2018 wurden daraus Angaben auf kommunaler sowie auf Landkreisebene übernommen.

Die *erneuerbare Stromerzeugung* wurde über die Anteile an Wasserkraft, Photovoltaik, tiefer Geothermie, Biogas und Biomasse sowie Windkraft abgebildet, woraus sich der gesamte Anteil der erneuerbaren Stromerzeugung ableitet.

Für die *erneuerbare Wärmeerzeugung* wurde jeweils die Gesamtsumme im Gemeinde- bzw. Landkreisgebiet übernommen.

Die *Stromnachfrage* wurde für die Sektoren Private Haushalte, GHD / Industrie und kommunale Einrichtungen aus dem Treibhausgasbericht 2022 übernommen. Die Stromnachfrage des elektrifizierten Individualverkehrs wurde über folgende Annahmen hergeleitet: Ausgehend von der Anzahl zugelassener elektrischer Kraftfahrzeuge je Kommune und einem mittleren Jahresstromverbrauch des Kraftfahrzeuges (aus mittlerer Jahreslaufleistung und Stromverbrauch je 100 km) wurde eine Abschätzung der Stromnachfrage getroffen.

Die *Wärmenachfrage* wurde analog zur Stromnachfrage für die Sektoren Private Haushalte, GHD / Industrie und kommunale Einrichtungen aus dem Treibhausgasbericht 2022 übernommen.

Die Modellierung des Referenzenergiesystems für das Basisjahr 2018 findet sich im Tabellenblatt „Nachfrage & Erzeugung“ des Excel-Tools (siehe Abbildung 1):

Strom						Wärme					
Stromnachfrage in MWh/a						Wärmenachfrage in MWh/a					
	2018	2025	2030	2035	2040		2018	2025	2030	2035	2040
Gesamt	2.000.504	1.927.760	2.193.882	2.514.562	2.937.598	Gesamt	4.523.417	4.701.662	4.861.370	5.033.045	5.221.425
Private Haushalte	430.086	405.195	380.232	356.265	333.773	Private Haushalte	1.911.125	1.872.138	1.825.848	1.776.183	1.726.518
GHD / Industrie	1.473.118	1.431.250	1.501.467	1.575.130	1.652.406	GHD / Industrie	2.501.145	2.691.127	2.895.540	3.115.479	3.352.125
Kommunale Einrichtungen	54.843	47.096	43.668	40.490	37.543	Kommunale Einrichtungen	136.312	138.396	139.982	141.383	142.782
Mobilität		44.219	268.514	542.677	913.875						
Stromerzeugung in MWh/a						Wärmeerzeugung in MWh/a					
	2018						2018				
Erneuerbare Stromerzeugung	314.630					Erneuerbare Wärmeerzeugung	925.213				
Wasserkraft	53.141					Nicht erneuerbare Wärmeerzeugung	3.598.204				
Photovoltaik	86.474										
Tiefe Geothermie (Strom)	117.375										
Biogas	20.276										
Biomasse	37.366										
Windkraft											
Nicht aus lokalen EE gedeckter Strombedarf	1.685.874										
Prozentuale Veränderung gegenüber 2020						Prozentuale Veränderung gegenüber 2020					
		-4%	10%	26%	47%			4%	7%	11%	15%
Anteil der Mobilität an der Gesamtstromnachfrage											
		2%	12%	22%	31%						

Abbildung 1: Modellierung des Referenzenergiesystems im Excel-Tool zum Basisjahr 2018 (grün umrandet)

¹ Klimaschutz im Landkreis München - Treibhausgasbericht und Projekte; Landratsamt München; 2022

3. Prognose der Energienachfrage

Die Prognose der Energienachfrage basiert im Wesentlichen auf Annahmen zur wirtschaftlichen und demografischen Entwicklung sowie technologischer Entwicklungen für einen zunehmend effizienten Einsatz von Energie. Diese Annahmen bilden sogenannte „Treiber“ der Energienachfrage.

3.1. Prognose der demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung

Folgende wesentliche Treiber wurden kommunenscharf zur Prognose der Energienachfrage (Strom und Wärme), jeweils für die Sektoren Private Haushalte, GHD / Industrie und kommunale Einrichtungen sowie Elektromobilität verwendet:

Bevölkerungswachstum

Die Prognosen des Bevölkerungswachstums basieren auf den Annahmen des Demographie-Spiegels für Bayern². Dieser weist für jede Kommune Bevölkerungsprognosen bis zum Jahr 2030 aus. Weitergehende Entwicklungen wurden extrapoliert. Die Bevölkerungszahlen finden sich in Tabellenblatt „Basisannahmen“, angegeben für jedes Prognoseintervall (vgl. Abbildung 2):

Bevölkerungsentwicklung					
	2020	2025	2030	2035	2040
Bevölkerungszahlen absolut	349.500	355.120	359.400	363.180	366.960
		2020 bis 2025	2025 bis 2030	2030 bis 2035	2035 bis 2040
Bevölkerungszunahme in Prozent		2%	1%	1%	1%

Abbildung 2: Abbildung der Bevölkerungsentwicklung im Excel-Tool je Prognoseintervall

Wirtschaftswachstum

Zur Abbildung des künftigen Wirtschaftswachstums wurde eine mittlere jährliche Wachstumsrate der Bruttowertschöpfung von 3,8 % für den Landkreis München angesetzt³. Die zu Grunde gelegten Wachstumsraten finden sich in Tabellenblatt „Basisannahmen“ und sind für jedes Prognoseintervall angegeben (vgl. Abbildung 3):

Wirtschaftswachstum					
		2025	2030	2035	2040
Mittlere Wachstumsrate der Bruttowertschöpfung p.a. in %		3,8%	3,8%	3,8%	3,8%

Abbildung 3: Abbildung des Wirtschaftswachstums im Excel-Tool je Prognoseintervall

² Demographie-Spiegel für Bayern; Bayerisches Landesamt für Statistik; 2021

³ Prognose der wirtschaftlichen Entwicklung bis 2030 in Bayern und Deutschland; Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut; 2013 & Bruttoinlandsprodukt (2010-2020); Bayerisches Landesamt für Statistik; 2022

Entwicklung des (privaten) Fahrzeugbestandes

Die Prognose der Entwicklung des Fahrzeugbestandes (PEV; Plug-in electric vehicle) im Landkreis basiert auf den Prognosen des Bevölkerungswachstums und auf der Anzahl an Fahrzeugen je Einwohner⁴. Weiterhin wird der Anteil elektrischer Kraftfahrzeuge angegeben, welcher als weiterer Treiber der Stromnachfrage einget. Für den Anteil der hybriden Fahrzeuge werden in der Prognose 0 % angenommen, da diese Antriebsart als Brückentechnologie mit rückläufigem Einsatz eingestuft wird. Die zu Grunde gelegten Annahmen finden sich in Tabellenblatt „Basisannahmen“ und sind für jedes Prognoseintervall angegeben (vgl. Abbildung 4):

Mobilität				2025	2030	2035	2040
				0%	0%	0%	0%
	jährliche Veränderung der Zahl der Fahrzeuge pro EW in %			0%	0%	0%	0%
	Anteil Fahrzeuge elektrisch am Gesamtbestand in %	1%		5%	30%	60%	100%
	Anteil Fahrzeuge hybrid am Gesamtbestand in % Wert für den gesamten Landkreis	3%		0%	0%	0%	0%

Abbildung 4: Abbildung des privaten Fahrzeugbestandes und des Anteils elektrischer Fahrzeuge am Fahrzeugbestand im Excel-Tool je Prognoseintervall

3.2. Prognose technologischer Entwicklungen und Effizienzsteigerungen

Effizienzsteigerungen der Nachfrageseite

Die Annahmen zur künftigen Effizienzsteigerung beim Energieeinsatz orientieren sich an den Vorgaben der Europäischen Richtlinie zur Energieeffizienz⁵ sowie Annahmen, die sog. „Rebound-Effekte“ bei Einsparungen einbeziehen. Die relativen Annahmen zu Effizienzgewinnen je Prognoseintervall für Strom und Wärme in den Sektoren Private Haushalte, GHD / Industrie sowie dem kommunalen Bereich finden sich in Tabellenblatt „Basisannahmen“ (vgl. Abbildung 5):

Effizienzgewinn Strom				2025	2030	2035	2040
				1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
	jährliche Einsparung Privathaushalte in %			1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
	jährliche Einsparung Gewerbe und Kommune in %			3,0%	1,5%	1,5%	1,5%
Effizienzgewinn Wärme (GHD / Industrie und Kommune)				2025	2030	2035	2040
				1%	1%	1%	1%
	jährliche Wärmeeinsparung in %			1%	1%	1%	1%

Abbildung 5: Abbildung des Effizienzgewinns in den Bereichen Wärme (GHD / Industrie und Kommune) und Strom im Excel-Tool je Prognoseintervall

⁴ Eigene Berechnung aus der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung des Demographie-Spiegels für Bayern sowie dem Gesamtfahrzeugbestand aus dem Treibhausgasbericht 2022

⁵ Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Energieeffizienz; 2018

Energetische Sanierung

Die Reduktion der Wärmenachfrage durch energetische Sanierung wird über künftige, mittlere Sanierungstiefen (vgl. Abbildung 6) in Kombination mit Sanierungsraten (vgl. Abbildung 7) bestimmt und im Tabellenblatt „Basisannahmen“ in den Feldern „spezifischer Energiebedarf nach Sanierung“ definiert (vgl. Abbildung 6). Für den spezifischen Energiebedarf unsanierter Gebäude 2018 wird ein Wert von 150 kWh/m² pro Jahr angenommen. Dieser Wert bildet den überdurchschnittlich hohen Energiebedarf besonders sanierungsbedürftiger Gebäude ab, da angenommen wird, dass diese mit höherer Priorisierung saniert werden.

Spezifischer Energiebedarf in kWh/m ² a					
	2020	2025	2030	2035	2040
spezifischer Energiebedarf Neubau		60	40	25	25
spezifischer Energiebedarf nach Sanierung		80	80	80	80
spezifischer Energiebedarf unsanierte Gebäude 2018	150				

Abbildung 6: Definition von heutigen und künftigen Sanierungsstandards für Neubau und Sanierung im Wohngebäudebestand

Landkreis München setzt sich folgende Zi	2025	2030	2035	2040
Jährliche Sanierungsrate in % bezogen auf die Gebäudenutzfläche von 2016	1%	1%	1%	1%

Abbildung 7: Definition der angestrebten jährlichen Sanierungsraten bezogen auf die Gebäudenutzfläche von 2016

3.3. Prognose der Energienachfrage

Die Ergebnisse der Nachfrageprognosen für Strom und Wärme, gegliedert in die Sektoren Private Haushalte, GHD / Industrie und kommunale Einrichtungen (sowie Mobilität im Stromsektor), finden sich im Tabellenblatt „Nachfrage & Erzeugung“, jeweils für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040. Diese basieren auf den Nachfragewerten des Referenzenergiesystems und werden über die Treiber und weitere Rahmenbedingungen bzw. Annahmen in die Zukunft fortgeschrieben (vgl. Abbildung 8).

Strom						Wärme					
Stromnachfrage in MWh/a						Wärmenachfrage in MWh/a					
	2016	2025	2030	2035	2040		2016	2025	2030	2035	2040
Gesamt	2.000.50	1.927.760	2.193.882	2.514.562	2.937.598	Gesamt	4.523.411	4.701.662	4.861.370	5.033.045	5.221.425
Private Haushalte	430.08	405.195	380.232	356.265	333.773	Private Haushalte	1.911.12	1.872.138	1.825.848	1.776.183	1.726.518
GHD / Industrie	1.473.11	1.431.250	1.501.467	1.575.130	1.652.406	GHD / Industrie	2.501.14	2.691.127	2.895.540	3.115.479	3.352.125
Kommunale Einrichtungen	54.84	47.096	43.698	40.490	37.543	Kommunale Einrichtungen	136.31	138.396	139.982	141.383	142.782
Mobilität		44.219	268.514	542.677	913.875						

Abbildung 8: Nachfrageprognose für Strom und Wärme im Excel-Tool

Stromnachfrage private Haushalte

Der wesentliche Treiber für die Entwicklung der Stromnachfrage privater Haushalte ist die Bevölkerungsentwicklung. Zudem geht in die Prognose die angenommene Reduktion der Nachfrage durch steigende Energieeffizienz beim Stromeinsatz z.B. von Haushaltsgeräten ein.

Stromnachfrage GHD / Industrie

Den wesentlichen Treiber für die Entwicklung der Stromnachfrage im Sektor GHD / Industrie bildet das prognostizierte Wirtschaftswachstum. Zudem geht in die

Prognose die angenommene Reduktion der Nachfrage durch steigende Energieeffizienz beim Stromeinsatz z.B. von industriellen Prozessen gemäß EU-Effizienzrichtlinie ein.

Stromnachfrage kommunale Einrichtungen

Die Prognose der angenommenen Reduktion der Nachfrage wird durch eine steigende Energieeffizienz - maßgeblich herbeigeführt durch die Klima- und Energieziele der jeweiligen Kommune bezüglich ihrer eigenen Liegenschaften und Infrastruktur - beeinflusst.

Stromnachfrage Mobilität

Den wesentlichen Treiber für die Entwicklung der Stromnachfrage im Bereich der Elektromobilität bildet die Entwicklung des Fahrzeugbestands, abgeleitet aus dem Bevölkerungswachstum und der Anzahl an PKW je Einwohner sowie dem elektrifizierten Anteil dieses künftigen Fahrzeugbestands und dessen Stromverbrauch.

Fahrzeugbestand					
	2020	2025	2030	2035	2040
KFZ je Einwohner	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Anzahl KFZ gesamt	9.170	9.663	10.057	10.353	10.846
Anzahl KFZ elektrisch	92	483	3.017	6.212	10.846
Anzahl KFZ hybrid	302	0	0	0	0
Stromverbrauch Elektromobilität					
	2020	2025	2030	2035	2040
mittlerer Jahresstromverbrauch je PEV in MWh/a	3	3	3	3	3
mittlerer Jahresstromverbrauch je Hybridfahrzeug in MWh/a	0	0	0	0	0

Abbildung 9: Angaben des Fahrzeugbestandes und dessen elektrischen Anteils sowie Definition des Stromverbrauchs durch Elektromobilität

Sektorkoppelung „Power to Heat“

Weiterhin wird die Stromnachfrage durch zunehmende Sektorkoppelung beeinflusst, sei es durch vermehrten Einsatz von Wärmepumpen aber auch durch den Strombedarf von Fernwärmeinfrastrukturen. Die Umwandlung von Strom in Wärme („Power to Heat“) wird innerhalb des Modells für die Gesamtnachfrage berücksichtigt. Die entsprechenden Grundannahmen finden sich in Tabellenblatt „Basis-Annahmen“ (vgl. Abbildung 10).

Strombedarf Wärme					
COP Fernwärme	30				
COP Wärmepumpe / Oberflächennahe Geothermie	5				
COP Luft-Wasser-Wärmepumpe	3				

Abbildung 10: Angaben zu Sektorkoppelung (Umwandlung von Strom in Wärme) im Excel-Tool

Wärmenachfrage private Haushalte

Wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Wärmenachfrage privater Haushalte bilden die Wohnfläche je Einwohner⁶, der Neubau & Abriss sowie die energetische Sanierung. Letztere wird über die angegebenen Sanierungsraten und Sanierungstiefen

⁶ Sozialraumanalyse Landkreis München 2018; Landratsamt München: 2018

definiert. Den wesentlichen Treiber für die Bautätigkeit bildet die Bevölkerungsentwicklung, die resultierende Wärmenachfrage hängt maßgeblich vom üblichen energetischen Standard der Neubauten ab. Die entsprechenden Grundannahmen finden sich in Tabellenblatt „Basis-Annahmen“ (vgl. Abbildung 11).

Spezifischer Energiebedarf in KWh/m ² a					
	2020	2025	2030	2035	2040
spezifischer Energiebedarf Neubau		60	40	25	25
spezifischer Energiebedarf nach Sanierung		80	80	80	80
spezifischer Energiebedarf unsanierte Gebäude 2018	150				

Nutzfläche pro Einwohner					
	2016				
Wohnfläche je Einwohner in m ²	43	Quelle: Sozialraumanalyse			

Abbildung 11: Angaben zur spezifischen Wärmenachfrage des Gebäudebestandes und Neubaus im Excel-Tool

Wärmenachfrage GHD / Industrie

Den wesentlichen Treiber für die Entwicklung der Wärmenachfrage im Sektor GHD / Industrie bildet das prognostizierte Wirtschaftswachstum. Zudem geht in die Prognose die angenommene Reduktion der Nachfrage aufgrund steigender Energieeffizienz beim Wärmeeinsatz ein.

Wärmenachfrage kommunale Einrichtungen

Als wesentlicher Treiber für die Entwicklung der Wärmenachfrage kommunaler Einrichtungen wurde die Bevölkerungsentwicklung herangezogen. Zudem geht in die Prognose die angenommene Reduktion der Nachfrage aufgrund steigender Energieeffizienz ein.

4. Modellierung der erneuerbaren Energiepotenziale

4.1. Potenzial Windenergie

Das Potenzial zur Errichtung von Windenergieanlagen wurde auf Grundlage der Potenzialanalysen des Projektes „Digitale Energieplanung für den Landkreis München“ ermittelt. In gegenständlichem Modell wird die maximale Anzahl installierbarer Windkraftanlagen als Indikator für die Einordnung des Potenzials angegeben. Die Anzahl maximal möglicher Anlagen (türkise Punkte) je Gemeinde wurde auf Grundlage der Potenzialflächen (blaue Flächen) und eines generischen Anlagentyps mit 4,5 MW Leistung unter Berücksichtigung der nötigen Anlagenabstände (rote Ellipsen) ermittelt (vgl. Abbildung 12).

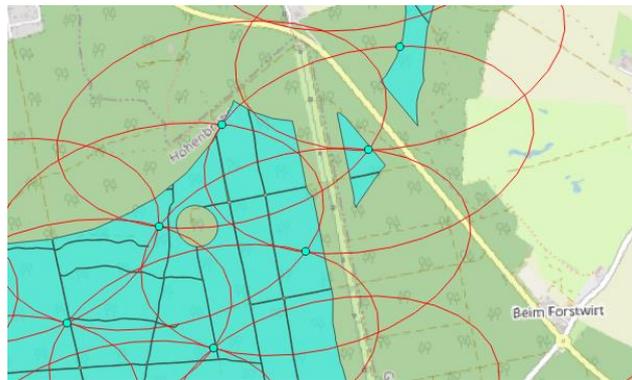


Abbildung 12: Beispielhafte Darstellung einer Windkraftanlagenkonstellation zur Ermittlung der maximalen Anlagenzahl je Gemeinde

Das Gesamtpotenzial in Form der maximalen Jahresstromproduktion durch Windkraftanlagen ermittelt sich über die potenziell mögliche Anlagenanzahl und einen mittleren Jahresstromertrag je Anlage (vgl. Abbildung 13).

Windkraft		
Gesamtpotenzial	3.420.000	MWh
Mögliche Anzahl Anlagen	380	-
Jahresertrag je Anlage	9.000	MWh

Abbildung 13: Annahmen zur Berechnung des Windkraftpotenzials im Excel-Tool

4.2. Potenzial Photovoltaik auf Freiflächen (EEG-Kulisse)

Das Potenzial zur Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen wurde auf Grundlage der Potenzialanalysen des Projektes „Digitale Energieplanung für den Landkreis München“ ermittelt. Diese beschränkte sich auf EEG-Flächen entlang von Schienenwegen und Autobahnen sowie auf Konversionsflächen (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung von Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen entlang von Bundesautobahnen (links unten nach rechts oben) und Bahnstrecken (links oben nach rechts unten)

Auf Basis der Analyseergebnisse zu maximal verfügbaren Flächen innerhalb der EEG-Flächenkulisse und einer angenommenen Leistungsdichte sowie einem spezifischen Flächenertrag ergibt sich ein Gesamtpotenzial in Form eines mittleren, jährlichen Gesamtstromertrages (vgl. Abbildung 15).

Photovoltaik auf Freiflächen (EEG-Gebietskulisse)		
Gesamtpotenzial	1.298.672	MWh
verfügbare Freifläche	1.804	ha
Installierbare Leistung je ha	800	kWp / ha
spezifischer Jahresertrag pro kWp	900	kWh / kWp
spezifischer Jahresertrag pro ha	720	MWh / ha

Abbildung 15: Annahmen zur Berechnung des Potenzials für PV-Freiflächenanlagen innerhalb der EEG-Gebietskulisse im Excel-Tool

4.3. Potenzial Photovoltaik auf Freiflächen (Agri-PV)

Das Potenzial zur Errichtung von Agrifotovoltaik-Anlagen wurde bisher nicht explizit ermittelt, jedoch wurden aus umfassenden Literaturrecherchen Angaben zur Installierbaren Leistung je Hektar sowie ein mittlerer, spezifischer Jahresertrag je Hektar ermittelt (vgl. Abbildung 16).

Agri-PV (Photovoltaik in Kombination mit Landwirtschaftlicher Nutzung)		
Installierbare Leistung je ha	300	kWp / ha
spezifischer Jahresertrag pro kWp	900	kWh / kWp
spezifischer Jahresertrag pro ha	270	MWh / ha

Abbildung 16: Annahmen zur Berechnung des Potenzials für Agrifotovoltaik-Anlagen im Excel-Tool

4.4. Potenzial Photovoltaik auf Dachflächen

Zur überschlägigen Ermittlung des Potenzials zur Nutzung der Photovoltaik auf Dachflächen wurde das 3D-Gebäudemodell des „Level of Detail 2“ der Bayerischen Vermessungsverwaltung herangezogen. Für jede im 3D-Modell abgebildete Dachfläche wurde zunächst die mittlere Jahresglobalstrahlung auf Basis von Ausrichtung und Neigung der Fläche ermittelt (vgl. Abbildung 17).



Abbildung 17: Beispielhafte Darstellung der mittleren Jahresglobalstrahlung auf Dachflächen des 3D-Gebäudemodells (LoD2) der Bayerischen Vermessungsverwaltung (Dunkelrot: Gering, Gelb: Hoch)

All jene Flächen, die einen Flächeninhalt von mindestens 10 m² und eine mittlere Jahresglobalstrahlung von mindestens 850 kWh/m²a aufweisen sowie nicht dem Denkmal- oder Ensembleschutz unterliegen wurden als Potenzialflächen betrachtet.

Unter der Annahme, dass 50 % der Potenzialflächen für die Installation von PV-Modulen geeignet sind und davon wiederum 90 % potenzielle Modulfläche darstellen, wurde die potenzielle Modulfläche je Gemeinde ausgewiesen. Unter Annahme eines Flächenbedarfes je installiertem kWp und eines mittleren Jahresertrages je kWp wird ein potenzieller Jahresstromertrag ausgewiesen (vgl. Abbildung 18).

Photovoltaik auf Dachflächen		
Gesamtpotenzial	1.031.021	MWh
potenziell verfügbare Modulfläche auf Dächern	6873474	m ²
benötigte Modulfläche für 1 kWp nominelle Leistung	6	m ² / kWp
zu erwartender Jahresertrag pro 1 kWp installierter Leistung	900	kWh / kWp
durchschnittlicher Jahresertrag pro m ² Modulfläche	0,150	MWh / m ²

Abbildung 18: Annahmen zur Berechnung des Potenzials für PV-Dachflächenanlagen im Excel-Tool

5. Definition kommunaler Energieziele

5.1. Ausbauziele erneuerbare Wärmeerzeugung

Das Excel-Tool ermöglicht die einfache Diskussion verschiedener Ausbaustrategien der erneuerbaren Wärmeerzeugung und von Wärmenetzen zur jahresbilanziellen Deckung einer künftig zu erwartenden Wärmenachfrage. Der Ausbau erneuerbarer Wärmeerzeugung hat direkten Einfluss auf den Strombedarf einer Kommune, wenn zum Beispiel der Einsatz von Wärmepumpen im Szenario vorgesehen ist. Daher wird empfohlen zunächst die Zieldefinition auf dem Tabellenblatt „Ausbauziel Wärme“ durchzuführen. Der veränderte Strombedarf (Anteil Power to Heat) kann anschließend in einem zweiten Schritt bei der Definition von Ausbauzielen im Stromsektor auf dem Tabellenblatt „Ausbauziel Strom“ berücksichtigt werden. Auf dem Tabellenblatt „Basisannahmen“ kann das gewünschte Zieljahr - und damit die Basis - für das Szenario eingestellt werden. Um ein einfaches und intuitives Arbeiten zu ermöglichen, wurde auf ein möglichst schnell erfassbares und im Umfang auf das Wesentliche reduzierte Eingabeformular gesetzt. Szenarien können über 6 Eingabefelder (blau hinterlegt) definiert werden:

Fernwärme (zentral)

Der Ausbau von Fernwärmenetzen im Landkreis München ist eng verbunden mit der Nutzung der Tiefen Geothermie, einer erneuerbaren Wärmequelle, die in weiten Teilen des Landkreises verfügbar ist. Vielerorts bildet die Fernwärme den strategischen Kern bei der Umsetzung der Wärmewende. Das Eingabeformular ermöglicht daher, zunächst den künftigen Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung zu definieren sowie erzeugerseitig den erneuerbaren Anteil an der über das Wärmenetz gelieferten Wärme. Da oftmals Gemeinden in einzelne Ortsteile untergliedert sind, in denen individuelle Strategien für den Aus- und Aufbau von Fernwärme verfolgt werden, wird eine Berechnungshilfe, die eine ortsteilspezifische Betrachtung erlaubt, bereitgestellt. Über den Link „Berechnungshilfe“ gelangt man auf die Tabelle „Wärmenachfrage - Anteilig Ortsteile (Hilfestellung Ausbauziel Wärme)“ im Tabellenblatt „Nachfrage & Erzeugung“ (siehe Abbildung 19).

Wärmenachfrage - Anteilig Ortsteile (Hilfestellung Ausbauziel Wärme)					
Ortsteil	Anteil an gesamter Wärmenachfrage	Anteil an Fernwärme in Ortsteil	(davon) Anteil erneuerbare Fernwärme in Ortsteil	Anteil dezentral in Ortsteil	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
	0%	0%	0%	100%	
Anteile an gesamter Wärmenachfrage in Gemeinde	0%	0%	0%	0%	

Abbildung 19: Tabelle „Wärmenachfrage - Anteilig Ortsteile (Hilfestellung Ausbauziel Wärme)“ im Excel-Tool

In dieser Tabelle sind die einzelnen Ortsteile mit ihrem jeweiligen Anteil an der Gesamtwärmenachfrage gelistet. Über die ortsteilspezifischen Angaben zum Anteil der künftigen Fernwärmeversorgung im Ortsteil sowie des erneuerbaren Wärmeanteils an der Fernwärmeversorgung werden die Gesamtanteile innerhalb der Kommune berechnet (unterste Zeile), die letztlich in das Eingabeformular zur Definition der Ausbauziele für erneuerbare Wärmeherzeugung übernommen werden können.

Dezentrale Wärmebereitstellung

Jener Teil der Wärmebereitstellung, der nicht zentral über Heiz(kraft)werke und Wärmenetze erfolgt, ist dezentral (vor Ort) zu leisten. In diesem Bereich bietet sich der Einsatz von oberflächennaher Geothermie (z.B. Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden oder Grundwasserwärme), von Luft-Wärmepumpen, von Biomasse (z.B. Holzpellets, Holzhackschnitzel, Scheitholz etc.) oder weiterer ergänzender bzw. heizungsunterstützende Systeme (z.B. Solarthermie) an. Das Eingabeformular bietet hier die Möglichkeit, den künftigen dezentralen Energiemix zu definieren, wobei empfohlen wird, auf die Ergebnisse der Potenzialanalysen des Projektes „digitale Energieplanung Landkreis München“ zur Strategieentwicklung zurückzugreifen.

ZIELSETZUNG

Entscheidungen, die Art und Umfang der zukünftigen Nutzung vorhandener Potenziale betreffen, obliegen der Gemeinde. Nachstehender Szenarien-Generator ermöglicht ein Experimentieren mit verschiedenen Ausbauzielen und dient als Hilfestellung zur Abschätzung der benötigten Handlungsschritte auf dem Weg zu einer erneuerbaren Heizwärmeversorgung.

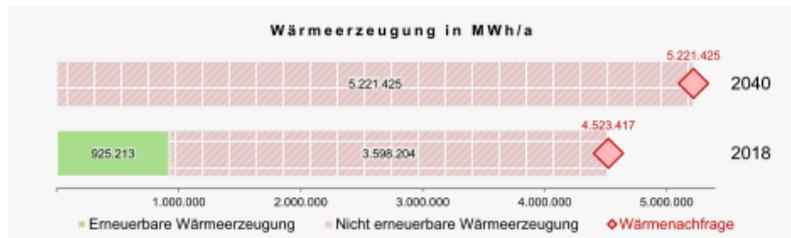
Der Landkreis München sich folgende Ziele:

Ausbauziel Wärmezeugung bis zum Jahr 2040

Erzeuger	Anteil an der gesamten Wärmezeugung in %	Anteil in %	Jahreswärmeertrag in MWh/a
Fernwärme (zentral)	0%	Berechnungshilfe	0
erneuerbarer Anteil		0%	0
dezentrale Wärmebereitstellung	100%		5.221.425
Anteil oberflächennahe Geothermie		0%	0
Anteil Luft-Wärmepumpe		0%	0
Anteil Biomasse		0%	0
Anteil ergänzende erneuerbare Systeme		0%	0
Anteil verbleibender fossiler Systeme (Erdgas, Heizöl, etc.)		100%	5.221.425

Bei erfolgreicher Umsetzung dieser Zielsetzung ergäbe sich für die Gemeinde folgende Deckung der Wärmenachfrage für das Jahr 2040:

Art der Wärmezeugung	Prozentualer Anteil	Wärmeerzeugung in MWh/a
Erneuerbare Wärmezeugung	0%	0
Nicht erneuerbare Wärmezeugung	100%	5.221.425



Falls weniger Anlagen einer Art installiert werden, müssen mehr Anlagen der anderen Art installiert werden, damit das Ziel, im Landkreis München eine **treibhausgasneutrale, von Importen unabhängige Wärmeversorgung** aufzubauen, erreichbar bleibt.

Durch das Setzen konkreter Ziele und die Selbstverpflichtung zu deren Umsetzung lassen sich die Konsequenzen des Klimawandels mildern und die regionale Wertschöpfung stärken.

Abbildung 20: Definition und grafische Auswertung von Szenarien zum Ausbau von Wärmeerzeugern und Wärmenetzinfrastruktur im Excel-Tool

Nach Definition eines Ausbauszenarios werden die Ergebnisse direkt im darunter liegenden Balkendiagramm visualisiert und der prognostizierten Wärmenachfrage gegenübergestellt. Die entsprechenden Zahlenwerte finden sich in der Tabelle mit den Eingabewerten. Jener Anteil der Wärmebereitstellung, der nicht über erneuerbare Fernwärme oder erneuerbare dezentrale Wärmeversorgungsoptionen gedeckt wird, wird unter „Nicht erneuerbare Wärmezeugung“ zusammengefasst.

5.2. Ausbauziele erneuerbare Stromerzeugung

Das Excel-Tool ermöglicht die einfache Diskussion verschiedener Ausbaustrategien der erneuerbaren Stromerzeugung zur jahresbilanziellen Deckung einer künftig zu erwartenden Stromnachfrage. Auf dem Tabellenblatt „Basisannahmen“ kann das gewünschte Zieljahr - und damit die Basis - für das Szenario eingestellt werden. Zur Orientierung bei der Szenario Konfiguration sind, wie unter Punkt 4 beschrieben, im Tabellenblatt „Potenzial“ die zu Grunde

gelegten Jahreserträge der Erzeugungsvarianten in MWh pro Einheit angegeben. Um ein einfaches und intuitives Arbeiten zu ermöglichen, wurde auf ein möglichst schnell erfassbares und im Umfang auf das Wesentliche reduzierte Eingabeformular gesetzt. Szenarien können über 5 Eingabefelder (blau hinterlegt) definiert werden:

Windkraft

Im Rahmen der Potenzialanalysen wurde die maximal installierbare Anzahl von Windkraftanlagen eines generischen Anlagentyps auf den ausgewiesenen Potenzialflächen ermittelt, woraus sich die Angabe zum Gesamtpotenzial ergibt. Durch Festlegung der künftigen Zahl an Anlagen wird automatisch ein Potenzial in Form des mittleren Jahresstromertrages der Anlagen ausgegeben und dem Gesamtpotenzial gegenübergestellt. Das Gesamtpotenzial bildet lediglich einen Richtwert und kann je nach kommunalplanerischem Rahmen auch überschritten werden.

PV Dachfläche

Die Potenzialanalyse auf Basis des 3D-Gebäudemodells weist eine theoretische, maximal verfügbare Modulfläche aus. Diese wurde in ein Gesamtpotenzial in Form eines mittleren Jahresstromertrages umgerechnet. Durch Festlegung der künftig genutzten Gesamtmodulfläche auf verfügbaren Dachflächen wird deren potenzieller Jahresstromertrag ausgegeben und dem Gesamtpotenzial gegenübergestellt. Das Gesamtpotenzial bildet lediglich einen Richtwert und kann auch überschritten werden.

PV Freifläche (EEG)

Im Rahmen der Potenzialanalysen wurde die maximal nutzbare Fläche für PV-Freiflächen innerhalb der EEG-Korridore an Autobahnen und Schienenwegen sowie auf Konversionsflächen ausgewiesen, woraus sich die Angabe zum Gesamtpotenzial ergibt. Durch Festlegung der künftig genutzten Fläche wird automatisch ein Potenzial in Form des mittleren Jahresstromertrages der Anlagen ausgegeben und dem Gesamtpotenzial gegenübergestellt. Das Gesamtpotenzial bildet lediglich einen Richtwert und kann je nach kommunalplanerischem Rahmen und durch Anlagen außerhalb der EEG-Förderkulisse auch überschritten werden.

PV Freifläche (Agri-PV)

Für PV-Freiflächen, die mit einer landwirtschaftlichen Nutzung kombiniert werden („Agri-PV“), wurde bisher kein explizites Potenzial ausgewiesen. Durch Festlegung der künftig genutzten Fläche wird automatisch ein Potenzial in Form des mittleren Jahresstromertrages der Anlagen ausgewiesen. Die spezifischen Ertragswerte wurden aus durchschnittlichen Anlagendaten ermittelt und sind geringer als jene der PV-Freiflächenanlagen nach EEG.

Sonstige Erneuerbare

Um auch weitere Formen der erneuerbaren Stromerzeugung berücksichtigen zu können, denen aktuell innerhalb des Landkreises München eine nachrangige Bedeutung beigemessen wird, steht ein eigenes Eingabefeld zur Verfügung. Hier wird der entsprechende Jahresstromertrag der Anlagen angegeben und so bilanziell berücksichtigt.

ZIELSETZUNG

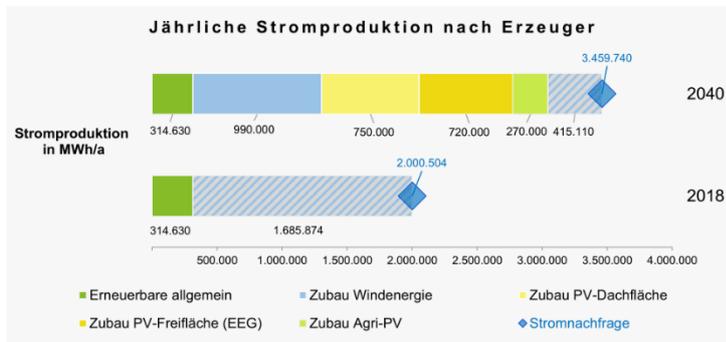
Entscheidungen, die Art und Umfang der zukünftigen Nutzung vorhandener Potenziale betreffen, obliegen der Gemeinde. Nachstehender Szenarien-Generator ermöglicht ein Experimentieren mit verschiedenen Ausbauzielen und dient als Hilfestellung zur Abschätzung der benötigten Handlungsschritte auf dem Weg zu einer erneuerbaren Stromversorgung.

Der Landkreis München setzt sich folgende Ziele:

Ausbauziel erneuerbare Stromerzeugung bis zum Jahr 2040

Erzeuger	Anzahl	Einheit	Jahresstromertrag in MWh/a	Gesamtpotenzial in MWh/a	Genutztes Potenzial in %
Windkraft	110	Anlagen	990.000	3.420.000	29%
PV Dachfläche	5000000	m ² Modulfläche	750.000	1.031.021	73%
PV Freifläche (EEG)	1000	ha	720.000	1.298.672	55%
PV Freifläche (Agri-PV)	1000	ha	270.000		
sonstige Erneuerbare			314.630		
Gesamt:			3.044.630	5.749.693	53%

Bei erfolgreicher Umsetzung dieser Zielsetzung ergäbe sich für die Gemeinde folgende Deckung der Stromnachfrage durch erneuerbare Energien für das Jahr 2040:



Falls weniger Anlagen einer Art installiert werden, müssen mehr Anlagen der anderen Art installiert werden, damit das Ziel, im Landkreis München eine **treibhausgasneutrale, von Importen unabhängige Stromversorgung** aufzubauen, erreichbar bleibt.

Durch das Setzen konkreter Ziele und die Selbstverpflichtung zu deren Umsetzung lassen sich die Konsequenzen des Klimawandels mildern und die regionale Wertschöpfung stärken.

Abbildung 21: Definition und grafische Auswertung von Szenarien zum Ausbau erneuerbarer Stromerzeuger im Excel-Tool

Nach Definition eines Ausbauszenarios werden die Ergebnisse direkt im darunter liegenden Balkendiagramm visualisiert und der prognostizierten Stromnachfrage gegenübergestellt. Die entsprechenden Zahlenwerte finden sich in der Tabelle mit den Eingabewerten. Auf diese Weise lässt sich einfach erschließen, welcher erneuerbare Deckungsgrad mit dem definierten Ausbau erzielt werden kann.

5.3. Resultierende Treibhausgasemissionen

Das Excel-Tool ermöglicht die einfache Diskussion verschiedener Ausbaustrategien der erneuerbaren Wärme- sowie Stromerzeugung. In dem Tabellenblatt THG-Emissionen werden die resultierenden Treibhausgasemissionen (in CO₂-Äquivalenten) dargestellt, um eine Abschätzung der Klimawirkung der jeweiligen Zielstellung zu geben. Um ein einfaches und intuitives Arbeiten zu ermöglichen, wurde ein möglichst schnell erfassbares und im Umfang auf das Wesentliche reduzierte Eingabeformular erstellt. Wesentliche Eingabeparameter bilden die CO₂-Faktoren des deutschen Strommix (für jenen Anteil an Strom, der nicht bilanziell über die lokale, erneuerbare Erzeugung gedeckt wird), der eingesetzten nicht-erneuerbaren

Wärme sowie der verkehrlichen Emissionen durch Treibstoffe im Individualverkehr (Anteil des nicht elektrifizierten Verkehrs). Letztere werden über den Wert für THG-Emission (CO₂-Äquivalent) pro Kopf im Verkehrssektor (Quelle: THG-Bericht 2022) und dem elektrifizierten Anteil des Kfz-Gesamtestandes (Tabellenblatt „Basis-Annahmen“) berechnet.



Abbildung 22: Definition und grafische Auswertung der resultierenden Treibhausgasemissionen im Excel-Tool

Nach Definition der CO₂-Faktoren werden die Ergebnisse direkt im darunter liegenden Balkendiagramm visualisiert und unterteilt nach den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr ausgegeben. Auf diese Weise lässt sich einfach erschließen, welcher jährliche Ausstoß an Treibhausgasemissionen (in CO₂-Äquivalenten) die angegebene Zielstellung hervorruft.