Energie-Atlas Bayern – Mischpult „Energiemix Bayern vor Ort“

Mischpult „Strom“
Information zur Berechnung

Im Mischpult „Strom“ werden folgende erneuerbare Energien in Form von Schiebereglern dargestellt:

- Schieberegler „Windenergie“
- Schieberegler „Biomasse“
- Schieberegler „Photovoltaik – Dachfläche“
- Schieberegler „Photovoltaik – Freifläche“
- Schieberegler „Wasserkraft“

Im Folgenden werden zunächst allgemeine Hinweise zur Darstellung des Potenzials und zum verwendeten Potenzialbegriff (siehe Kapitel 1) sowie zur angewandten Datengrundlage (siehe Kapitel 2) gegeben.

Am Beispiel einer Gemeinde werden anschließend die Berechnungsweisen für jeden Schieberegler und für die technischen Stromerzeugungspotenziale erläutert (siehe Kapitel 3 bis Kapitel 6). Die Berechnung der Ergebnisse für Landkreise, Regierungsbezirke oder mehrere Verwaltungseinheiten wird nicht beschrieben. Diese Ergebnisse werden grundsätzlich aus den Einzelergebnissen der zugehörigen Gemeinden gebildet.

Hintergrund: Was ist das Mischpult?

Das **Mischpult „Energiemix Bayern vor Ort“** ist eine Anwendung im Energie-Atlas Bayern, um Kommunen für die Energienutzungsplanung zu sensibilisieren. Sie können zwischen dem **Mischpult „Strom“** und dem **Mischpult „Wärme“** wählen. www.energieatlas.bayern.de/kommunen/mischpult.html

Mit wenigen Klicks zeigt das Mischpult für ein ausgewähltes Gebiet (Gemeinde, Landkreis, Regierungsbezirk) die aktuelle und künftig mögliche Versorgungssituation mit erneuerbaren Energien an. Es ermöglicht, Szenarien für Energie- und CO_2-Äquivalente-Einsparungen oder für einen Energiemix aus erneuerbaren Energien auszuprobieren. Damit bietet das Mischpult eine erste Orientierung bei der Planung einer zukunftsfähigen und effizienten Energienutzung vor Ort.

Hinweis: Das Mischpult ersetzt keinen Energienutzungsplan, der eine fundierte gebietsbezogene Bestandsaufnahme, Potenzialanalyse oder Konzeptentwicklung benötigt, die für die Umsetzung zu entwickelnder Maßnahmen erforderlich sind.

1 Darstellung des Potenzials und verwendeter Potenzialbegriff

Das Mischpult „Strom“ zeigt Ihnen technische Stromerzeugungspotenziale der Nutzung der Windenergie, der Biomasse, der Solarenergie (Photovoltaik – Dachfläche und Photovoltaik – Freifläche) und der Wasserkraft an. Eine farbliche Markierung in den Säulen hinter dem Schieberegler zeigt den Anteil des technischen Potenzials der erneuerbaren Energie am Stromverbrauch in % an. Dies soll zur Orientierung und Prüfung dienen, ob die gewählte Schiebereglereinstellung einem realistischen Szenario entspricht.

Für das Mischpult wird grundsätzlich ein technisches Potenzial berechnet. Neben der vorhandenen Siedlungsstruktur und Infrastruktur schränken technische Anforderungen (z. B. Wirkungsgrad der Anlage, Volllaststunden, Anlagengröße) und ökologische Aspekte (z. B. Schutzgebiete und -bereiche oder Kleinstflächen, Nachhaltigkeit) das theoretisch verfügbare (Flächen-)Angebot für die Energienutzung ein.

Um das technische Potenzial nicht zu überschätzen, werden auch wirtschaftliche Aspekte (z. B. Windgeschwindigkeit, Dachausrichtung, Mindestfallhöhe, Nutzungskonkurrenz, politische Rahmenbedingungen) einbezogen. Eine wirtschaftliche Gesamtbetrachtung, die nach Kaltschmitt et al. (2014: 29) z. B. auch die Kosten und Abschreibungen der Technologie, die Preisentwicklung der fossilen Energieträger und Rohstoffe, konkurrierende Energiebereitstellungssysteme und die Veränderung politischer Rahmenbedingungen berücksichtigt, wird nicht geleistet.

Das umsetzbare Potenzial fällt immer kleiner aus als das technische Potenzial, da nach Kaltscmitt et al. (2014: 29) neben den wirtschaftlichen Restriktionen auch andere Hemmnisse unter anderem bei der Markteinführung von Technologien, durch rechtliche und administrative Begrenzungen und durch geringe Akzeptanz der Bevölkerung von bestimmten Technologien berücksichtigt werden müssen (siehe Abb. 1).

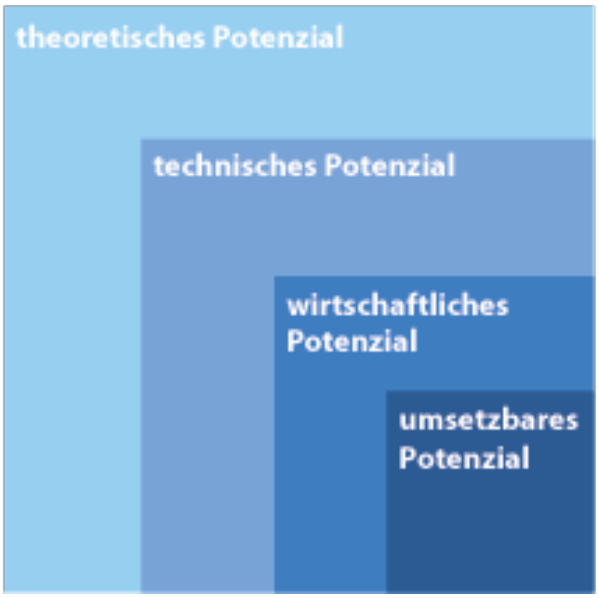

Abb. 1: Schematische Darstellung zur Abgrenzung der Potenzialbegriffe

Das im Mischpult „Strom“ angezeigte technische Potenzial ist ein Rechenwert, der sich nur auf die im Jahresverlauf benötigten Strommengen, nicht aber auf die bedarfsgerechte Verfügbarkeit oder die Versorgungssicherheit bezieht. Auch eine mehr als hundertprozentige Abdeckung des Bedarfs erfordert daher ausreichenden Netzausbau, konventionelle Kraftwerke, Stromspeicherung oder Laststeuerung (Demand-Side-Management).

Die Schieberegler können Sie auch über die Potenziale hinaus verschieben. Dies ist dann sinnvoll, wenn vor Ort zusätzliche Potenziale erkennbar sind. Diese können sich beispielsweise aufgrund interkommunaler Zusammenarbeit bei der Biomassenutzung, von Einzelfallprüfungen bei der Genehmigung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen oder von neuen effizienteren Technologien ergeben. Ein rot eingefärbter Schieberegler signalisiert Ihnen, dass Sie mit der gewählten Einstellung eine Potenzialüberschreitung nach den in den folgenden Kapiteln beschriebenen Berechnungsmethoden eingegangen sind.

2 Datengrundlage

Im Mischpult „Strom“ werden mehrere Datenquellen verwendet. Um den Stromverbrauch zu ermitteln, werden aktuell bereitgestellte Daten des Bayerischen Landesamtes für Statistik verwendet (vgl. Informationen zu den Rahmendaten: Stromverbrauch). Die Anlagendaten stammen aus unterschiedlichen Quellen (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Verwendete Quellen der Anlagendaten je Energieträger und Anlagentypen

Energieträger	Anlagentypen	Quellen der Anlagendaten
Windenergie	• Windenergieanlagen größer 70 kW	• Energie-Atlas Bayern, Detailinfo in der Infobox[1] der Karte „Windenergieanlagen“
Biomasse	• Biomasseanlagen mit gasförmigen, flüssigen, festen und unbekannten Brennstoff	• Energie-Atlas Bayern, Detailinfo in der Infobox[1] der Karte „Biomasseanlagen“
Photovoltaik	• Dachflächenanlagen • Freiflächenanlagen	• Energie-Atlas Bayern, Detailinfo in der Infobox[1] der Karte „Photovoltaikanlagen“
Wasserkraft	• Wasserkraftanlagen (Laufkraftwerke, Speicherkraftwerke)	• Energie-Atlas Bayern, Detailinfo in der Infobox[1] der Karte „Wasserkraftanlagen“

Stand der verwendeten Daten

31.12.2021

Die Zahlen und Darstellungen im Mischpult „Strom“, in der Anwendung „Recherche“ und in den Karten des Energie-Atlas Bayern liefern teilweise abweichende Ergebnisse. Dies erklärt sich durch die jeweilige Datenherkunft und teilweise einen abweichenden Datenstand. Nähere Informationen zu möglichen Abweichungen erhalten Sie in der Hilfe zum Kartenteil des Energie-Atlas Bayern unter dem Menüpunkt „Allgemeines > Häufig gestellte Fragen (FAQ)“. Mögliche Differenzen bei der Summenbildung in nachfolgend dargestellten Beispielrechnungen sind auf Rundungen in den Berechnungsstufen zurückzuführen.

[1] Anleitung: Im Menü des Kartenteils des Energie-Atlas Bayern finden Sie unter "Auswahl" neben jedem Eintrag einen kleinen nach unten weisenden Pfeil. Klicken Sie darauf und anschließend auf den i-Button (blauer Kreis mit „i“) In dem sich öffnenden Pop-up Fenster sind verschiedene Themenangebote zusammengefasst, unter „Datenquellen und Methodik“ finden Sie Informationen zu den Datenquellen sowie zu der Aktualität der Daten..

3 Schieberegler „Windenergie“

Die Startposition des Schiebereglers „Windenergie“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Windenergie am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde in % an. Wenn Sie den Regler Windenergie verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Windenergie ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials (siehe Kapitel 3.6).

3.1 Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:
Die Stromproduktion bestehender Windenergieanlagen wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern übernommen (vgl. Kapitel 2) und je Gemeinde summiert.

Szenario:
Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler „Windenergie“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Stromproduktion aus Windenergie für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 40.874 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 19.444 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Stromproduktion in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	48%	19.444	-	19.444
Vollständig	100%	19.444	21.430	40.874
technisches Potenzial	84%	19.444	14.968	34.412

3.2 Wie viel Leistung (MW) ist installiert?

Ist-Stand:
Die Nennleistung bestehender Windenergieanlagen wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern übernommen (vgl. Kapitel 2) und je Gemeinde summiert.

Szenario:
Aus der zusätzlichen Stromproduktion und der gebietsspezifischen Volllaststundenzahl wird die zusätzliche Nennleistung von neuen Windenergieanlagen berechnet.

Die zusätzliche Stromproduktion, die durch neue Windenergieanlagen erzeugt werden soll, lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Windenergie“ neu eingestellten Stromproduktion (vgl. Kapitel 3.1) und der Stromproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Die gebietsspezifische Volllaststundenzahl wird über die vorhandenen Potenzialflächen (dunkelgrüne Flächen der Gebietskulisse Windkraft) ermittelt.

Für Gebiete ohne Potenzialflächen wird die durchschnittliche Volllaststundenzahl in Höhe von 2.000 h/a - nach Fraunhofer IEE (2022), angepasst durch LENK, angenommen.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der Nennleistung der Bestandsanlagen und der zusätzlichen Nennleistung von neuen Windenergieanlagen gebildet. Es wird die künftige Nennleistung von Windenergieanlagen angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Stromverbrauch durch den Einsatz von Windenergieanlagen zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 40.874 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 19.444 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: Anlage 1 = 3,170 MW
Anlage 2 = 3,370 MW
Anlage 3 = 2,970 MW
→ insgesamt 3 Anlagen mit 9,510 MW
- gebietsspezifische Volllaststundenzahl: 2.045 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Stromproduktion in MWh/a			Nennleistung in MW		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	48%	19.444	-	19.444	9,510	-	10
Vollständig	100%	19.444	21.430	40.874	9,510	10,479	20
technisches Potenzial	84%	19.444	14.968	34.412	9,510	7,319	17

3.3 Wie viele Anlagen werden benötigt?

Ist-Stand:

In die Berechnung gehen Anlagen ein, die nach EEG eine finanzielle Förderung erhalten und eine tatsächlich installierte Nennleistung von mehr als 70 kW aufweisen. Kleinwindenergieanlagen, die nach der DIN EN 61400-2 eine überstrichene Rotorfläche von bis zu 200 m² aufweisen, werden also nicht berücksichtigt.

Szenario:

Die ermittelte zusätzliche Nennleistung (vgl. Kapitel 3.2) wird standardmäßig durch die Nennleistung einer modernen Anlage in Höhe von 3 MW geteilt, um die Zahl des Anlagenzubaus zu berechnen.

Die Anzahl der Bestandsanlagen und der neuen Windenergieanlagen ergibt die Anlagenanzahl, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Deckungsanteil durch Windenergie zu erfüllen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 40.874 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: Anlage 1 = 3,17 MW
Anlage 2 = 3,37 MW
Anlage 3 = 2,97 MW
→ insgesamt 3 Anlagen mit 9,51 MW
- Standardmäßige Nennleistung einer neuen Anlage: 3 MW

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Nennleistung in MW			Anzahl der Anlagen		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	48%	9,510	-	10	3	-	3
Vollständig	100%	9,510	10,479	20	3	4	7
technisches Potenzial	84%	9,510	7,319	17	3	3	6

3.4 Wie viel Treibhausgas-Emissionen (t CO_2-Äq./a) werden eingespart?

Ist-Stand:

Die Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 3.1) multipliziert mit dem spezifischen Netto-Vermeidungsfaktor in Höhe von 752,57 g CO_2-Äq./kWh nach dem Umweltbundesamt (UBA, 2022) ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden Windenergieanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden Windenergieanlagen.

Szenario:

Das Produkt aus der Stromproduktion von neuen Anlagen (vgl. Kapitel 3.1) und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 752,57 g CO_2-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher Windenergieanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche Windenergieanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde:

- Stromverbrauch gesamt: 40.874 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 19.444 MWh/a

  Netto-Vermeidungsfaktor: 752,57 g CO_2-Äq./kWh
  0,75257 t CO_2-Äq./MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Stromproduktion in MWh/a			CO2-Äq.-Einsparung in t CO2-Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	48%	19.444	-	19.444	14.633	-	14.633
Vollständig	100%	19.444	21.430	40.874	14.633	16.128	30.761
technisches Potenzial	84%	19.444	14.968	34.412	14.633	11.264	25.897

3.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Ist-Stand:

Als Flächenbedarf für Windenergieanlagen werden standardmäßig 5 ha/MW installierter Nennleistung angesetzt. Der Flächenbedarf ergibt sich durch die Multiplikation der installierten Nennleistung der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 3.2) mit diesem Flächenbedarfsfaktor und wird je Gemeinde summiert.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Nennleistung und dem Flächenbedarfsfaktor in Höhe von 5 ha/MW wird der zusätzliche Flächenbedarf berechnet.

Die zusätzliche Nennleistung, die durch neue Windenergieanlagen installiert werden soll, lässt sich aus dem am Schieberegler eingestellten Deckungsanteil der Windenergie ermitteln (vgl. Kapitel 3.2).

Die Fläche, die insgesamt benötigt wird, entspricht der Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des zusätzlichen Flächenbedarfs neuer Windenergieanlagen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 40.874 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: Anlage 1 = 3,17 MW
Anlage 2 = 3,37 MW
Anlage 3 = 2,97 MW
→ insgesamt 3 Anlagen mit 9,51 MW
- standardmäßiger Flächenbedarf: 5 ha/MW

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Nennleistung in MW			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	48%	9,510	-	10	47,6	-	48
Vollständig	100%	9,510	10,479	20	47,6	52,4	100
technisches Potenzial	84%	9,510	7,319	17	47,6	36,6	84

3.6 Technisches Stromerzeugungspotenzial der Windenergienutzung

Das technische Stromerzeugungspotenzial der Windenergienutzung in einer Gemeinde umfasst die örtliche Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 3.1) und die zusätzlichen Erzeugungsmöglichkeiten auf voraussichtlich geeigneten Flächen (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials der Windenergie in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Windenergienutzung	Annahmen für die zusätzliche Windenergienutzung
Bestand – bereits vor Ort erzeugter Strom aus bestehenden Windenergieanlagen + **zusätzliche Windenergienutzung** – Strom, der zusätzliche neue Windenergieanlagen auf voraussichtlich geeigneten Flächen in der Gemeinde erzeugen könnten	• Leistung einer modernen Anlage: 3 MW • Durchschnittliche Volllaststundenzahl in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit • Ausreichend windhöffige Flächen abzüglich immissions- und naturschutzfachlicher Schutzgebiete und -bereiche, Kleinstflächen und der durch Windenergieanlagen besetzten Flächen

Potenzialabschätzung für die zusätzliche Windenergienutzung

Als Potenzialflächen für neue Windenergieanlagen wurden folgende Gebiete berücksichtigt:

- Gebiete, die in der Gebietskulisse Windkraft mit einer Fläche größer 10 ha und mit Windgeschwindigkeiten größer als 5 m/s in 130 m Höhe angegeben werden (dunkelgrüne Flächen) unter nachträglichem Ausschluss von Gebieten, die in Ausschlussbereiche des Militärs, des zivilen Luftverkehrs und der Wetterradarstationen des Deutschen Wetterdienstes liegen (vgl. Übersicht Berechnungsgrundlage Gebietskulisse Windkraft).
- In Regionalplänen rechtsverbindlich festgesetzte Vorranggebiete für die Errichtung von Windkraftanlagen.

Die Gebietskulisse Windkraft weist bayernweit Flächen aus, in denen Windenergienutzung aus Sicht des Immissionsschutzes und des Naturschutzes voraussichtlich möglich ist. Kommunen, die eine Vielzahl dunkelgrüner Flächen aufweisen, verfügen generell über ein höheres Windenergiepotenzial.

Aufgrund ihrer Form können Flächen unterschiedlich dicht mit Anlagen bestückt werden. In Bayern fallen drei typische Flächenformen auf: großflächig und breit, kleinflächig und schmal, sehr lang und schmal. Für diese Flächenformen wird eine spezifische Anlagendichte ermittelt, indem auf der gesamten Fläche 3-MW-Anlagen nebeneinander angeordnet werden. Bei dieser Anordnung spielt der Rotordurchmesser eine bedeutende Rolle. Der Rotordurchmesser einer modernen Windenergieanlage für Schwachwindstandorte liegt bei rund 130 m. Der Abstand zwischen den Anlagen sollte mindestens dem Fünffachen Rotordurchmesser entsprechen, um die gegenseitige Beeinflussung durch Windschatten und Luftverwirbelungen zu minimieren.

Für die weitere Berechnung wird den verbleibenden Flächen anhand ihres Verhältnisses zwischen Umfang und Fläche die Flächenform ermittelt und entsprechend eine spezifische Anlagendichte (m²/MW) zugewiesen. So lässt sich für jede Fläche (m²) die maximal mögliche Nennleistung (MW) berechnen. Diese wird um die Summe der Nennleistung aller Bestandsanlagen, die sich auf dieser Fläche befinden, bereinigt. Im Ergebnis steht die Nennleistung von Windenergieanlagen fest, die auf freien Potenzialflächen installiert werden könnte.

Mit Hilfe des Ertragsrechners der Suisse Eole – Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz (o. J.) werden für drei marktübliche Windenergieanlagen die Volllaststunden je mittlerer Windgeschwindigkeit ermittelt, die eine Windenergieanlage mit vorgegebener Nennleistung zur Erwirtschaftung des Jahresertrags in Betrieb sein muss. Je mittlerer Windgeschwindigkeit wird eine durchschnittliche Volllaststundenzahl berechnet.

Auf Grundlage des Bayerischen Windatlas des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2014) wird jeder Potenzialfläche eine mittlere Windgeschwindigkeit und dieser entsprechend eine durchschnittliche Volllaststundenzahl zugeordnet.

Die Multiplikation der technisch möglichen, installierbaren Nennleistung von Windenergieanlagen auf einer freien Potenzialfläche mit der jeweils zugeordneten durchschnittlichen Volllaststundenzahl ergibt den technisch möglichen Ertrag durch zusätzliche Windenergienutzung. Die Summe der technisch möglichen Erträge, die auf allen örtlichen Potenzialflächen ermittelt wurden, stellt das technische Potenzial für die zusätzliche Nutzung von Windenergie in einer Gemeinde fest.

4 Schieberegler „Biomasse“

Der Schieberegler „Biomasse“ umfasst alle Biomasseanlagen mit gasförmigem (Biogasanlage/-Blockheizkraftwerk), festem (Biomasseheizkraftwerk), flüssigem (Pflanzenöl-Blockheizkraftwerk) und unbekanntem Brennstoff, die Strom erzeugen, sowie solche Abfallheizkraftwerke, die aus biogenem Abfall Strom erzeugen. In der Statistik (Länderarbeitskreis Energiebilanzen) wird dabei pauschal von 50 % biogenem Anteil bei Hausmüll und Siedlungsabfällen ausgegangen.

Im Mischpult werden Biomasseanlagen mit flüssigem oder unbekanntem Brennstoff wie „Biomasseheizkraftwerke“ behandelt, da keine geeigneten Parameter für diese Anlagen zur Verfügung stehen. Der Datenbestand zu Anlagen mit unbekanntem Brennstoff wird derzeit überprüft, um den Anlagen künftig einen bestimmten Brennstofftyp (gasförmig, fest, flüssig) direkt zuordnen zu können. Durch die bisherige Zuordnung wird die Stromproduktion der Biogasanlagen bayernweit betrachtet um maximal 1,5 % unterschätzt und das bereits genutzte Potenzial in Biomasseheizkraftwerken überschätzt. Bei der Betrachtung einzelner Gemeinden kann sich durchaus eine deutlich höhere Abweichung ergeben.

Die Startposition des Schiebereglers „Biomasse“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Biomasse am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde in % an. Wenn Sie den Regler Biomasse verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Biomasse ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials (Kapitel 4.6).

Für den Zubau im Szenario werden derzeit ausschließlich landwirtschaftliche Biogasanlagen berücksichtigt.

4.1 Wie viel Strom (MWh_{el}/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:

Die Stromproduktion bestehender Biomasseanlagen und die Stromproduktion aus biogenem Abfall bestehender Abfallheizkraftwerke wird aus den Anlagedaten des Energie-Atlas Bayern übernommen (vgl. Kapitel 2) und je Gemeinde summiert.

Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler „Biomasse“ eingestellten Deckungsanteil können Sie eine künftige Stromproduktion aus Biomasse für Ihre Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 30.136 MWh_{el}/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: Biogasanlage 1 = 2.763 MWh_{el}/a
  Biogasanlage 2 = 3.397 MWh_{el}/a
  Biomasseheizkraftwerk = 2.579 MWh_{el}/a
  → insgesamt 3 Anlagen mit 8.739 MWh_{el}/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromproduktion in MWhel/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	29%	8.739	-	8.739
vollständig	100%	8.739	21.397	30.136
technisches Potenzial	35%	8.739	1.809	10.548

4.2 Wie viel Leistung (MWel) ist installiert?

Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung der bestehenden Biomasseanlagen sowie die elektrische Brutto-Leistung der bestehenden Abfallheizkraftwerke wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Stromproduktion, die durch Biogasanlagen erzeugt werden soll, und der durchschnittlichen Volllaststundenzahl der bayerischen Biogasanlagen in Höhe von 5.414 h/a nach eigenen Berechnungen wird die zusätzliche elektrische Nennleistung von neuen Biogasanlagen berechnet. Frühere Berechnungen gingen davon aus, dass die Durchschnittsanlage konstant in das Stromnetz einspeist und noch nicht flexibilisiert ist. Die durchschnittliche Volllaststundenzahl wurde daher zuvor mit 7.194°ha/a angesetzt. Die aktuellen Volllaststunden flexibilisierter Biogasanlagen fallen inzwischen geringer aus.

Die zusätzliche Stromproduktion, die durch Biogasanlagen erzeugt werden soll, lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Biomasse“ neu eingestellten Stromproduktion (vgl. Kapitel 4.1) und der Stromproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der elektrischen Nennleistung von den Bestandsanlagen und der zusätzlichen elektrischen Nennleistung von neuen Biogasanlagen gebildet. Es wird die künftige elektrische Nennleistung von Biomasseanlagen angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Stromverbrauch durch den Einsatz von Biomasseanlagen zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 30.136 MWh_{el}/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen:
  Biogasanlage 1 = 2.763 MWh_{el}/a
  Biogasanlage 2 = 3.397 MWh_{el}/a
  Biomasseheizkraftwerk = 2.579 MWh_{el}/a
  → insgesamt 3 Anlagen mit 8.739 MWh_{el}/a
- Elektrische Nennleistung der Bestandsanlagen:
  Biogasanlage 1 = 382 kW_{el}
  Biogasanlage 2 = 450 kW_{el}
  Biomasseheizkraftwerk = 450 kW_{el}
  → insgesamt 3 Anlagen mit 1,282 MW_{el}
- durchschnittliche Volllaststundenzahl
  - einer Biogasanlage: 5.414 h/a (Zubau im Szenario)

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromproduktion in MWhel/a			Nennleistung in MWel		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	29%	8.739	-	8.739	1,282	-	1
vollständig	100%	8.739	21.397	30.136	1,282	3,952	5
technisches Potenzial	35%	8.739	1.809	10.548	1,282	0,334	2

4.3 Wie viele Anlagen werden benötigt?

Ist-Stand:

In die Berechnung gehen alle Biomasseanlagen ein, die nach EEG eine finanzielle Förderung erhalten oder in der Emissionsberichterstattung beim LfU geführt werden, ergänzt um Abfallheizkraftwerke, die aus biogenem Abfall Strom erzeugen.

Szenario:

Die zusätzliche Stromproduktion (vgl. Kapitel 4.1) wird standardmäßig durch die durchschnittliche Stromproduktion einer Biogasanlage in Höhe von 2.926 MWh_{el}/a geteilt, um die Zahl des Anlagenzubaus zu berechnen. Dieser Faktor ergibt sich aus der installierten Nennleistung von Biogasanlagen in Bayern in Höhe von 1.445 MW_{el} sowie der Anzahl der Biogasanlagen in Bayern in Höhe von 2.674 nach dem Bayerischen Landesamt für Landwirtschaft (2022) und der durchschnittlichen Volllaststundenzahl bayerischer Biogasanlagen in Höhe von 5.414 h/a nach eigenen Berechnungen.

Die Anzahl der Bestandsanlagen und der neuen Biogasanlagen ergibt die Anlagenanzahl, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Deckungsanteil durch den Einsatz von Biomasseanlagen zu erfüllen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 30.136 MWh_{el}/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: Biogasanlage 1 = 2.763 MWh_{el}/a
  Biogasanlage 2 = 3.397 MWh_{el}/a
  Biomasseheizkraftwerk = 2.579 MWh_{el}/a
  → insgesamt 3 Anlagen mit 8.739 MWh_{el}/a
- Standardmäßige, durchschnittliche Stromproduktion einer Biogasanlage: 2.926 MWh_{el}/a (Zubau im Szenario)

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromproduktion in MWhel/a			Anzahl der Anlagen		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	29%	8.739	-	8.739	3	-	3
vollständig	100%	8.739	21.397	30.136	3	8	11
technisches Potenzial	35%	8.739	1.809	10.548	3	1	4

4.4 Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO_2-Äq./a) werden eingespart?

Die Treibhausgas-Emissionen einer Biogasanlage werden im Mischpult vereinfachend komplett der Stromerzeugung zugeordnet. Treibhausgas-Emissionen, die auf die Wärmeerzeugung von Biogasanlagen entfallen, werden daher im Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“ im Mischpult „Wärme“ auf Null festgesetzt.

Ist-Stand:

Die Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 4.1) multipliziert mit dem spezifischen Netto-Vermeidungsfaktor von Biomasseheizkraftwerken in Höhe von 743,27 g CO_2-Äq./kWh_{el} und die Stromproduktion der Bestandsanlagen multipliziert mit dem Netto-Vermeidungsfaktor von Biogasanlagen in Höhe von 473,58 g CO_2-Äq./kWh_{el} beziehungsweise für die Stromerzeugung aus dem biogenen Anteil

des Abfalls in Höhe von 806,41 g CO_2-Äq./kWh_{el} nach UBA (2022) ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden Biomasseanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden Biomasseanlagen.

Szenario:
Das Produkt aus der Stromproduktion von neuen Anlagen (vgl. Kapitel 4.1) und dem spezifischen Vermeidungsfaktor von Biogasanlagen in Höhe von 473,58 g CO_2-Äq./kWh_{el} bzw. von Biomasseheizkraftwerken in Höhe von 743,27 g CO_2-Äq./kWh_{el} ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher Biogasanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende Biomasseanlagen und zusätzliche Biogasanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 30.136 MWh_{el}/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: Biogasanlage 1 = 2.763 MWh_{el}/a
  Biogasanlage 2 = 3.397 MWh_{el}/a
  Biomasseheizkraftwerk = 2.579 MWh_{el}/a
  → insgesamt 3 Anlagen mit 8.739 MWh_{el}/a
- Netto-Vermeidungsfaktor
  - einer Biogasanlage: 473,58 g CO_2-Äq./kWh_{el}
    = 0,47358 t CO_2-Äq./MWh_{el}
    (Bestand und Zubau im Szenario)
  - eines Biomasseheizkraftwerks: 743,27 g CO_2-Äq./kWh_{el}
    = 0,74327 t CO_2-Äq./MWh_{el}
    (Bestand)

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromproduktion in MWhel/a			CO2-Äq.-Einsparung in t CO2-Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	29%	8.739	-	8.739	4.834,1	-	4.834
vollständig	100%	8.739	21.397	30.136	4.834,1	10.133,2	14.967
technisches Potenzial	35%	8.739	1.809	10.548	4.834,1	856,7	5.691

4.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Als spezifischer Flächenbedarf (inklusive Waldfläche) werden für Biomasseheizkraftwerke 0,167 ha/MWh_{el} angesetzt. Dieser Faktor ergibt sich aus dem Kehrwert der elektrischen Energie pro Waldfläche in Höhe von 5,982 MWh_{el}/ha. Die elektrische Energie pro Waldfläche wird aus dem Energiegehalt forstwirtschaftlicher Biomasse pro Waldfläche in Höhe von 24,926 MWh/ha (berechnet aus Angaben zum jährlichen Zuwachs nach Thünen-Institut (2012 a), zur Raumdichte nach Knigge et al. (1966), zum Heizwert nach Hartmann et al. (2013: 50) und zur Waldfläche in Bayern nach Thünen-Institut (2012 b)) und einem elektrischen Wirkungsgrad von Biomasseheizkraftwerken in Höhe von 24 % nach bifa Umweltinstitut GmbH (2015) berechnet.

Für Biogasanlagen wird ein spezifischer Flächenbedarf (inklusive Anbaufläche) in Höhe von 0,048 ha/MWh_{el} verwendet. Dieser Faktor ergibt sich aus dem erzeugten Strom bayerischer Biogasanlagen in Höhe von rund 7,028 TWh (ermittelt nach Kapitel 4.1) und der für die Biogasproduktion in Bayern angebaute und verwendete Anteil nachwachsender Rohstoffe auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Höhe von 330.350 ha nach dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2023). Für Gülle und Reststoffe wird kein Flächenbedarf angesetzt.

Der Flächenbedarf kann größtenteils der Stromerzeugung von Biogasanlagen zugeordnet werden. Die Fläche, die für die Wärmeerzeugung von Biogasanlagen benötigt wird, wird im Schieberegler „Abwärme aus Biogasanlagen und Industrie“ im Mischpult „Wärme“ vereinfachend auf Null festgesetzt.

Für die Stromerzeugung aus dem biogenen Anteil des Abfalls wird der spezifische Flächenbedarf mit Null ausgegeben.

Ist-Stand:

Um den Flächenbedarf der bestehenden Biomasseheizkraftwerke zu berechnen, wird die Stromproduktion ausgerechnet, die mit Waldholz erzeugt wird. Dazu wird der Waldholzanteil am Brennstoffmix eines Biomasseheizkraftwerkes in Höhe von 22 % nach Gößwein et al. (2020: 98) mit der Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 4.1) multipliziert. Diese durch Waldholz erzeugte Strommenge wird dann mit dem spezifischen Flächenbedarf von Biomasseheizkraftwerken in Höhe von 0,167 ha/MWh_{el} multipliziert.

Der Flächenbedarf von Biogasanlagen ergibt sich durch die Multiplikation der Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 4.1) mit dem spezifischen Flächenbedarf in Höhe von 0,048 ha/MWh_{el}.

Der so ermittelte Flächenbedarf der Bestandsanlagen wird für jede Gemeinde summiert und ergibt die Waldfläche, die für die Befeuerung der örtlichen Biomasseanlagen benötigt wird.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Stromproduktion, die durch neue Biogasanlagen erzeugt werden soll, und dem spezifischen Flächenbedarf von Biogasanlagen in Höhe von 0,048 ha/MWh_{el} wird der zusätzliche Flächenbedarf berechnet.

Die zusätzliche Stromproduktion, die durch neue Biogasanlagen erzeugt werden soll (vgl. Kapitel 4.1), lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Biomasse“ neu eingestellten Stromproduktion und der Stromproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Die Fläche, die insgesamt benötigt wird, entspricht der Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des zusätzlichen Flächenbedarfs neuer Biogasanlagen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 30.136 MWh_{el}/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: Biogasanlage 1 = 2.763 MWh_{el}/a
  Biogasanlage 2 = 3.397 MWh_{el}/a
  Biomasseheizkraftwerk = 2.579 MWh_{el}/a
  → insgesamt 3 Anlagen mit 8.739 MWh_{el}/a
- Waldholzanteil am Brennstoffmix eines Biomasseheizkraftwerks: 22 %
- spezifischer Flächenbedarf
  - einer Biogasanlage: 0,048 ha/MWh_{el} (Bestand und Zubau im Szenario)
  - eines Biomasseheizkraftwerks: 0,167 ha/MWh_{el} (Bestand)

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromproduktion in MWhel/a			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	29%	8.739	-	8.739	390,4	-	390
vollständig	100%	8.739	21.397	30.136	390,4	1.027,1	1.418
technisches Potenzial	35%	8.739	1.809	10.548	390,4	86,8	477

4.6 Technisches Stromerzeugungspotenzial der Biomassenutzung

Das technische Stromerzeugungspotenzial der Biomassenutzung in einer Gemeinde umfasst die Stromproduktion der bestehenden Biomasseheizkraftwerke, die Stromerzeugung aus dem biogenen Anteil des Abfalls in bestehenden Abfallheizkraftwerken (vgl. Kapitel 4.1) und das örtliche, landwirtschaftliche Biomassepotenzial, welches in Biogasanlagen genutzt wird beziehungsweise genutzt werden könnte (siehe Tab. 3). Regional noch verfügbare Holzpotenziale aus bayerischen Forsten finden im Wärmesektor Berücksichtigung (siehe Information zur Berechnung – Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien).

Tab. 3: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials der Stromproduktion aus Biomasse in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Stromproduktion aus Biomasse	Annahmen für das zusätzliche Biogaspotenzial
Bestand – bereits vor Ort erzeugter Strom aus bestehenden Biogasanlagen, Biomasseheizkraftwerken und aus dem biogenen Anteil des Abfalls in Abfallheizkraftwerken + **zusätzliches Biogaspotenzial** – Strom, der durch den Einsatz von lokalen Potenzialen landwirtschaftlicher Biomasse in Biogasanlagen zusätzlich produziert werden könnte	• Biogaspotenziale der Landkreise und kreisfreien Städte (in kW nach Rauh 2011) werden anhand der landwirtschaftlichen Nutzfläche den Gemeinden zugeordnet • Durchschnittliche Volllaststundenzahl bayerischer Biogasanlagen in Höhe von 5.414 h/a • Abzüglich der Stromproduktion bestehender Biogasanlagen

Dass landwirtschaftliche Biomasse z. B. auch aus benachbarten Orten bezogen werden kann, kann im Mischpult nicht unmittelbar berücksichtigt werden. Sie können aber die Transportfähigkeit der landwirtschaftlichen Biomasse simulieren, indem Sie mehrere Nachbarorte auswählen und dadurch die gemeinsame Nutzung regionaler Potenziale betrachten.

Potenzialabschätzung für die zusätzliche Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse in Biogasanlagen

Die Erzeugung von Bioenergie aus nachwachsenden Rohstoffen steht nach Bringezu et al. (2008: 12) in Konkurrenz zur klassischen landwirtschaftlichen Flächennutzung. Vor diesem Hintergrund und aufgrund des Bestrebens einer möglichst nachhaltigen Entwicklung der Biogaserzeugung wurde am Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt im Rahmen der Dissertation von Rauh (2010) ein Landnutzungsmodell (LaNuOpt – LandNutzungsOptimierung) entwickelt, mit dem zukünftige Entwicklungen der bayerischen Landwirtschaft dargestellt werden können.

Das LaNuOpt simuliert nach Rauh (2011: 2 f.) die Entwicklung der Landwirtschaft in Bayern bis zum Jahr 2015. Dabei werden nach Rauh (2010: 49 ff.) (land-)wirtschaftliche, politische und ökologische Rahmenbedingungen einbezogen. In dem Modell sind gemittelte Marktpreise (beispielsweise für Nahrungs- und Futterweizen, Brau- und Futtergerste, Raps, Körnermais, Milch, Rind- und Schweinefleisch etc.) hinterlegt. Für die Biogaserzeugung werden die Rahmenbedingungen des EEG 2009 herangezogen. Fruchtfolgerestriktionen, Auflagen der Düngeverordnung und Erosionsschutzaspekte werden ebenfalls berücksichtigt.

Weiterführende Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsweise des Modells sowie zur verwendeten Datengrundlage sind in der Dissertation von Rauh (2010) nachzulesen.

Mit Hilfe des LaNuOpt untersucht Rauh (2011: 3 f.) vier verschiedene Szenarien zur künftigen Entwicklung der Landwirtschaft und ermittelt die Leistungspotenziale der Biogasproduktion der bayerischen Landkreise und kreisfreien Städte. In den Szenarien werden die ökologischen Anforderungen unterschiedlich stark gewichtet. Für die Potenzialdarstellung im Mischpult werden die Ergebnisse aus dem dritten Szenario herangezogen. Im dritten Szenario werden die Restriktionen des Natur- und Umweltschutzes aus dem ersten Szenario aufgegriffen und zusätzlich langfristige Ziele in Bezug auf ökologisch und landeskulturell bedeutsame Flächen (ÖLF) berücksichtigt.

Für das Mischpult werden die Leistungspotenziale der örtlichen Biogasproduktion für die bayerischen Landkreise und kreisfreien Städte anhand der jeweiligen, landwirtschaftlichen Nutzfläche auf die Gemeindeebene projiziert. Das Arbeitspotenzial der Biogasproduktion ergibt sich durch Multiplikation des Leistungspotenzials mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl in Höhe von 5.414 h/a nach eigenen Berechnungen). Die so ermittelten Werte stellen das gesamte technische Biogaspotenzial auf der Gemeindeebene dar.

Die Differenz zwischen dem gesamten technischen Biogaspotenzial und der Stromproduktion der bestehenden Biogasanlagen entspricht dem zusätzlichen Biogaspotenzial.

Die Potenzialabschätzung liegt einige Jahre zurück und wird derzeit überprüft.

5 Schieberegler „Photovoltaik – Dachfläche“ und „Photovoltaik – Freifläche“

Zur Stromerzeugung aus Solarenergie werden Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) eingesetzt. Sie können sowohl auf Dachflächen als auch auf Freiflächen installiert werden. Im Mischpult wird daher zwischen der Stromerzeugung aus PV-Dachflächenanlagen und PV-Freiflächenanlagen unterschieden.

Die Startposition des Schiebereglers „Photovoltaik – Dachfläche“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Strommenge aus PV-Dachflächenanlagen am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde an. Wenn Sie den Regler „Photovoltaik – Dachfläche“ verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Photovoltaik ein. Für den Schieberegler „Photovoltaik – Freifläche“ können Sie genauso verfahren.

Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials der Solarenergie, für „Photovoltaik – Dachfläche“ (siehe Kapitel 5.1.6) und für „Photovoltaik – Freifläche“ (siehe Kapitel 5.2.6).

5.1 Schieberegler „Photovoltaik – Dachfläche“

5.1.1 Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:
Die Stromproduktion bereits installierter PV-Dachflächenanlagen wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern (vgl. Kapitel 2) übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:
Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler „Photovoltaik – Dachfläche“ eingestellten Deckungsanteil lässt sich eine künftige Stromproduktion aus Photovoltaik für eine Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 9.606 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 6.131 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Dachflächen		Stromproduktion in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	64%	6.131	-	6.131
vollständig	100%	6.131	3.475	9.606
technisches Potenzial	253%	6.131	18.203	24.334

5.1.2 Wie viel Leistung (MWp) ist installiert?

Ist-Stand:
Die Nennleistung der bereits installierten PV-Dachflächenanlagen wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern (vgl. Kapitel 2) übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:
Aus der zusätzlichen Stromproduktion und den durchschnittlichen Volllaststunden der Bestandsanlagen im ausgewählten Gebiet wird die zusätzliche Nennleistung von neuen PV-Dachflächenanlagen berechnet.

Die zusätzliche Stromproduktion, die durch neue PV-Dachflächenanlagen erzeugt werden soll (vgl. Kapitel 5.1.1), lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Photovoltaik – Dachfläche“ neu eingestellten Stromproduktion und der Stromproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Für Gebiete ohne PV-Dachflächenanlagen wird die durchschnittliche Volllaststundenzahl aller bayerischen PV-Dachflächenanlagen in Höhe von 984 h/a nach eigener Berechnung angenommen.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der Nennleistung der Bestandsanlagen und der zusätzlichen Nennleistung von neuen PV-Dachflächenanlagen gebildet. Es wird die künftige Nennleistung von PV-Dachflächenanlagen angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Stromverbrauch durch den Einsatz von PV-Dachflächenanlagen zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 9.606 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 6.131 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: 7,320 MW_p
- durchschnittliche Volllaststundenzahl der Bestandsanlagen im ausgewählten Gebiet: 838 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Dachflächen		Stromproduktion in MWh/a			Nennleistung in MW		
		Be-stand	Zubau	ge-samt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	64%	6.131	-	6.131	7,320	-	7
vollständig	100%	6.131	3.475	9.606	7,320	3,444	11
technisches Potenzial	253%	6.131	18.203	24.334	7,320	18,040	25

5.1.3 Wie viele Anlagen werden benötigt?

Ist-Stand:

In die Berechnung gehen Anlagen ein, die nach EEG eine finanzielle Förderung erhalten und über den Vergütungsschlüssel als PV-Dachflächenanlagen identifiziert wurden.

Szenario:

Die ermittelte zusätzliche Nennleistung (vgl. Kapitel 5.1.2) wird durch die spezifische Nennleistung einer durchschnittlichen Anlage in Höhe von 8 kW_p nach eigener Annahme geteilt, um die zusätzliche Anzahl an PV-Dachflächenanlagen zu berechnen.

Die Summe der Bestandsanlagen und der Anzahl der zusätzlichen neuen PV-Dachflächenanlagen ergibt die Anlagenanzahl, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Deckungsanteil durch Photovoltaik auf Dachflächen zu erfüllen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 9.606 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: 7,320 MW_p
  → insgesamt 449 Anlagen
- Nennleistung einer neuen Anlage: 8 kWp = 0,008 MWp

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Dachflächen		Nennleistung in MW			Anzahl der Anlagen		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	64%	7,320	-	7	449	-	449
vollständig	100%	7,320	3,444	11	449	431	880
technisches Potenzial	253%	7,320	18,040	25	449	2.256	2.705

5.1.4 Wie viel Treibhausgas-Emissionen (t CO_2-Äq./a) werden eingespart?

Ist-Stand:

Die Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 5.1.1) multipliziert mit dem spezifischen Netto-Vermeidungsfaktor in Höhe von 683,82 g CO_2-Äq./kWh nach UBA (2022) ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden PV-Dachflächenanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden PV-Dachflächenanlagen.

Szenario:

Das Produkt aus der Stromproduktion von neuen Anlagen (vgl. Kapitel 5.1.1) und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 683,82 g CO_2-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher PV-Dachflächenanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche PV-Dachflächenanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 9.606 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 6.131 MWh/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor: 683,82 g CO_2-Äq./kWh
  = 0,68382 t CO_2-Äq./MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Dachflächen		Stromproduktion in MWh/a			CO_2-Äq.-Einsparung in t CO_2-Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	64%	6.131	-	6.131	4.192,7	-	4.193
vollständig	100%	6.131	3.475	9.606	4.192,7	2.376,3	6.569
technisches Potenzial	253%	6.131	18.203	24.334	4.192,7	12.447,5	16.640

5.1.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Ist-Stand:

Als spezifischer Flächenbedarf für PV-Dachflächenanlagen werden standardmäßig 6,5 m²/kW$_p$ angesetzt. Der Flächenbedarf ergibt sich durch die Multiplikation der installierten Nennleistung der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 5.1.2) mit diesem Flächenbedarfsfaktor und wird je Gemeinde summiert.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Nennleistung und dem Flächenbedarfsfaktor von PV-Dachflächenanlagen in Höhe von 6,5 m²/kW wird der zusätzliche Flächenbedarf berechnet.

Die zusätzliche Nennleistung, die durch neue PV-Dachflächenanlagen installiert werden soll, lässt sich aus dem am Schieberegler eingestellten Deckungsanteil durch Photovoltaik auf Dachflächen ermitteln (vgl. Kapitel 5.1.2).

Die Fläche, die insgesamt benötigt wird, entspricht der Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des zusätzlichen Flächenbedarfs neuer PV-Dachflächenanlagen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch gesamt: 9.606 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: 7,320 MW$_p$
- standardmäßiger Flächenbedarf: 6,5 m²/kW$_p$ = 0,65 ha/MW$_p$

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Dachflächen		Nennleistung in MW			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	64%	7,320	-	7	4,8	-	5
vollständig	100%	7,320	3,444	11	4,8	2,2	7
technisches Potenzial	253%	7,320	18,040	25	4,8	11,7	16

5.1.6 Technisches Stromerzeugungspotenzial der Solarenergienutzung – Photovoltaik auf Dachflächen

Das technische Stromerzeugungspotenzial der Photovoltaik wird auf in der Gemeinde nutzbaren Dachflächen ermittelt (siehe Tab. 4: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials von Photovoltaik auf Dachflächen in einer Gemeinde).

Tab. 4: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials von Photovoltaik auf Dachflächen in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Nutzung der Photovoltaik auf Dachflächen	Annahmen für die Nutzung der Photovoltaik auf Dachflächen
Nutzung der Photovoltaik auf Dachflächen – Strom, der auf nutzbaren Dachflächen erzeugt wird und erzeugt werden könnte	• Nutzbare Dachflächen abzüglich der Flächen für die solare Trinkwarmwasserbereitung • Standortspezifischer Sonneneintrag (Globalstrahlung) mit entsprechender Dachausrichtung und -neigung • Durchschnittlicher Wirkungsgrad marktüblicher Solarmodule in Höhe von 15 % • Performance Ratio[2] in Höhe von 75 %

Potenzialabschätzung für die Nutzung der Photovoltaik auf Dachflächen

Zur Potenzialabschätzung für die Nutzung der Photovoltaik zur Stromerzeugung ist vor allem eine differenzierte Betrachtung der tatsächlich nutzbaren Dachflächen eines Gebäudes von Bedeutung. Nicht alle Gebäude sind durch ihre Lage auf dem Grundstück, die Neigung und Orientierung der Dachflächen, Aufbauten und gegenseitige Gebäudeverschattungen ideal für eine Photovoltaiknutzung geeignet. Bauliche Nebenanlagen (z. B. Garagen, Gartenhäuser) und Gebäude, die im Rahmen des Denkmalschutzes oder Ensemble-Schutzes gelistet sind, werden von der Berechnung ausgeschlossen.

Die verbleibenden Gebäude werden auf Grundlage der Daten aus der ersten Detaillierungsstufe des 3D-Gebäudemodells von Bayern (Level of Detail 1)[3] der Bayerischen Vermessungsverwaltung (2019a) anhand ihres Verhältnisses zwischen Umfang und Grundfläche nach zwei Dachformen unterschieden: Gebäude mit eher geneigten Dächern und Gebäude mit eher flachen Dächern. Entsprechend der Dachform, wird für jedes Gebäude das Volumen aus seiner Grundfläche und Gebäudehöhe ermittelt. Da mit dieser Methode Gebäude mit geneigtem Dach zunächst als Gebäude mit flachem Dach behandelt werden, wird das Volumen dieser Gebäude entsprechend ihrer Gebäudehöhe korrigiert.

Weiterhin wird jedes Gebäude einer Siedlungsdichteklasse zugeordnet. Dafür wird die Dichte jeder Siedlungsfläche berechnet. Sie ergibt sich aus dem Quotient des Volumens aller Gebäude, die sich auf derselben Siedlungsfläche befinden, und der Größe der Siedlungsfläche. Als Siedlungsflächen werden die Wohnbauflächen und Flächen gemischter Nutzung gemäß der tatsächlichen Nutzung der Bayerischen Vermessungsverwaltung (2019b) herangezogen.

[2] Nach QUASCHNING (2009: 233) berücksichtigt die Performance Ratio die in der Praxis auftretenden Effekte für Leistungsverluste, unter anderem Modultemperatur, Sonneneinstrahlung (abhängig von der Tageszeit), eventuelle Verschattungen, Verluste durch Verschmutzungen, Verluste der Leitungen und Verluste im Wechselrichter. Aus der Performance Ratio beispielsweise von 75 % ergibt sich ein Abschlag von 25 %.

[3] Die erste Detaillierungsstufe des 3D-Gebäudemodells von Bayern wird nach der BAYERISCHEN VERMESSUNGSVERWALTUNG (2020) als Level of Detail 1 oder auch als Klötzchenmodell bezeichnet. Dieses Modell basiert auf den Gebäudegrundrissen aus ALKIS und Airborne-Laserscanning-Daten. Dachformen werden bei dieser Modellierung nicht berücksichtigt. Jedes Gebäude erhält ein Flachdach.

Je Dachform wird eine Belegungsdichte für den Anteil der mit PV-Anlagen bestückbaren Dachfläche an der Gebäudegrundfläche ermittelt. Dafür wird die Belegung der Dachfläche für eine Vielzahl an Gebäuden mit einem Standardmodul simuliert und ausgewertet.

Für flache Dächer werden die Module stringent nach Süden ausgerichtet. Es wird ein Minimalabstand zum Rand des Daches eingehalten und etwaige Aufbauten oder Lüftungsanlagen ausgespart. Für großflächige Gebäude mit flachen Dächern (z. B. Hallen, große Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude etc.) ergibt sich so im Durchschnitt ein Anteil von 24 % der Gebäudegrundfläche als Potenzialfläche. Die Statik der Dächer großer, industriell genutzter Gebäude ist nicht immer für zusätzliche Auflasten ausgelegt. Daher wird für solche Gebäude nur ein Drittel der berechneten Potenzialfläche angesetzt.

Bei Gebäuden mit geneigten Dächern werden die Module auf der nach Süden ausgerichteten Dachseite und mit einem Minimalabstand zum Dachrand platziert. Die Auswertung erfolgt auf Gebäuden mit unterschiedlicher Siedlungsdichteklasse, da eine sehr dichte Bebauung die nutzbaren Dachflächenanteile durch Verschattung verringert. Es ergibt sich im Durchschnitt ein Anteil von 35 % der Gebäudegrundfläche als Potenzialfläche.

Bei Gebäuden mit geneigten Dächern wird zusätzlich davon ausgegangen, dass die Größe der Dachfläche aufgrund baulicher Traditionen regional unterschiedlich ist. Deswegen wird je Regierungsbezirk und Siedlungsdichteklasse ein Umrechnungsfaktor angesetzt. Dieser ergibt sich aus dem Quotient der Summe der in einem Regierungsbezirk tatsächlich vorhandenen Dachflächen gemäß der zweite Detaillierungsstufe des 3D-Gebäudemodells von Bayern (Level of Detail 2)[4] der Bayerischen Vermessungsverwaltung (2013) aller Gebäude einer Siedlungsdichteklasse und ihrer Gebäudegrundflächen. Der Umrechnungsfaktor berücksichtigt, dass meist nur die Hälfte der Dachfläche gut ausgerichtet ist.

Neben der Photovoltaiknutzung bietet sich für Wohngebäude die Option, einen Teil des Wärmebedarfs über eine solarthermische Anlage abzudecken (siehe Information zur Berechnung – Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien). Um ein konkurrierendes Nutzungsszenario oder eine Überschätzung des technischen Potenzials zu umgehen, wird allen Wohngebäuden der notwendige Flächenanteil zur solaren Trinkwarmwasserbereitung von der berechneten Potenzialfläche abgezogen. Die notwendige Fläche einer solarthermischen Anlage wurde der Vornorm DIN V 4701-10 entnommen. Sie wird über die Größe der Energiebezugsfläche des Gebäudes, die entsprechend des Gebäudeenergiegesetzes (2020) nach der Vornorm DIN V 18599 (2018-09) ermittelt wird (beheiztes Gebäudevolumen multipliziert mit 0,32 m^{-1}), zugewiesen.

Die Multiplikation der für Photovoltaikanlagen vorgesehenen Potenzialfläche eines Gebäudes, dem standortspezifischen Sonneneintrag (Globalstrahlung) nach dem Deutschen Wetterdienst (2020), einer damit verbundenen Dachausrichtung und -neigung, mit dem durchschnittlichen Wirkungsgrad marktüblicher Solarmodule in Höhe von 15 % nach eigener Annahme und einer Performance Ratio in Höhe von 75 % nach Quaschning (2009: 233) ergibt den technisch möglichen Ertrag durch Nutzung der Photovoltaik auf der Dachfläche.

Die Summe der technisch möglichen Erträge, die auf allen für Photovoltaik vorgesehenen Potenzialflächen der gemeindezugehörigen Gebäude ermittelt werden, stellt das technische Potenzial für die Nutzung der Photovoltaik auf Dachflächen in einer Gemeinde dar.

[4] Die zweite Detaillierungsstufe des 3D-Gebäudemodells von Bayern wird nach der Bayerischen Vermessungsverwaltung (2020) als Level of Detail 2 (LoD2) bezeichnet. Dieses Modell basiert ebenfalls auf den Gebäudegrundrissen aus ALKIS und Airborne-Laserscanning Daten. Im LoD2 werden zudem Standarddachformen und beschreibende Attribute angegeben. Zum Zeitpunkt der Ermittlung der Umrechnungsfaktoren je Siedlungsdichteklasse lagen die Daten im LoD2 noch nicht flächendeckend vor.

5.2 Schieberegler „Photovoltaik – Freifläche“

5.2.1 Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:
Die Stromproduktion bereits installierter PV-Freiflächenanlagen wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayern (vgl. Kapitel 2) übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:
Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler „Photovoltaik – Freifläche“ eingestellten Deckungsanteil lässt sich eine künftige Stromproduktion aus Photovoltaik für eine Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 18.634 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 3.188 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Freiflächen		Stromproduktion in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	17%	3.188	-	3.188
vollständig	100%	3.188	15.446	18.634
technisches Potenzial	243%	3.188	42.018	45.206

5.2.2 Wie viel Leistung (MW_p) ist installiert?

Ist-Stand:
Die Nennleistung der bereits installierten PV-Freiflächenanlagen wird aus den Anlagendaten des Energie-Atlas Bayer (vgl. Kapitel 2) übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:
Aus der zusätzlichen Stromproduktion und der durchschnittlichen Volllaststundenzahl der Bestandsanlagen im ausgewählten Gebiet wird die zusätzliche Nennleistung von neuen PV-Freiflächenanlagen berechnet.

Die zusätzliche Stromproduktion, die durch neue PV-Freiflächenanlagen erzeugt werden soll (vgl. Kapitel 5.2.1), lässt sich aus der Differenz der mit dem Schieberegler „Photovoltaik – Freifläche“ neu eingestellten Stromproduktion und der Stromproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Für Gebiete ohne PV-Freiflächenanlagen wird die durchschnittliche Volllaststundenzahl aller bayerischen PV-Freiflächenanlagen in Höhe von 1.033 h/a nach eigener Berechnung angenommen.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der Nennleistung der Bestandsanlagen und der zusätzlichen Nennleistung von neuen PV-Freiflächenanlagen gebildet. Es wird die künftige Nennleistung von Freiflächenanlagen angezeigt, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Anteil am Stromverbrauch durch den Einsatz von PV-Freiflächenanlagen zu decken.

Beispiel “Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 18.634 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 3.188 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: 3,223 MW_p
- durchschnittliche Volllaststunden der Bestandsanlagen im ausgewählten Gebiet: 1.072 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Freiflächen		Stromproduktion in MWh/a			Nennleistung in MW		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	17%	3.188	-	3.188	3,223	-	3
vollständig	100%	3.188	15.446	18.634	3,223	14,476	18
technisches Potenzial	243%	3.188	42.018	45.206	3,223	39,379	43

5.2.3 Wie viele Anlagen werden benötigt?

Ist-Stand:

In die Berechnung gehen Anlagen ein, die nach EEG eine finanzielle Förderung erhalten und über den Vergütungsschlüssel als PV-Freiflächenanlage identifiziert wurden.

Szenario:

Die ermittelte zusätzliche Nennleistung (vgl. Kapitel 5.2.2) wird durch die spezifische Nennleistung einer durchschnittlichen Anlage in Höhe von 1.500 kW_p nach eigener Annahme geteilt, um die zusätzliche Anzahl an PV-Freiflächenanlagen zu berechnen.

Die Anzahl der Bestandsanlagen und der neuen PV-Freiflächenanlagen ergibt die Anlagenanzahl, die benötigt wird, um den mit dem Schieberegler eingestellten Deckungsanteil durch Photovoltaik auf Freiflächen zu erfüllen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 18.634 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: 3,188 MW_p
  → insgesamt 3 Anlagen
- Nennleistung einer neuen Anlage: 1.500 kW_p = 1,5 MW_p

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Freiflächen		Nennleistung in MW			Anzahl der Anlagen		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	17%	3,223	-	3	3	-	3
vollständig	100%	3,223	14,476	18	3	10	13
technisches Potenzial	243%	3,223	39,379	43	3	27	30

5.2.4 Wie viel Treibhausgas-Emissionen (t CO2-Äq./a) werden eingespart?

Ist-Stand:

Die Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 5.2.1) multipliziert mit dem spezifischen Netto-Vermeidungsfaktor in Höhe von 683,82 g CO_2-Äq./kWh nach UBA (2022) ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden PV-Freiflächenanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden PV-Freiflächenanlagen.

Szenario:

Das Produkt aus der Stromproduktion von neuen Anlagen (vgl. Kapitel 5.2.1) und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 683,82 g CO_2-Äq./kWh ergibt die eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz zusätzlicher PV-Freiflächenanlagen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch bestehende und zusätzliche PV-Freiflächenanlagen vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 18.634 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 3.3188 MWh/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor: 683,82 g CO_2-Äq./MWh
  = 0,68382 t CO_2-Äq./MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Freiflächen		Stromproduktion in MWh/a			CO_2-Äq.-Einsparung in t CO_2-Äq./a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	17%	3.188	-	3.188	2.180,3	-	2.180
vollständig	100%	3.188	15.446	18.634	2.180,3	10.562,3	12.743
technisches Potenzial	243%	3.188	42.018	45.206	2.180,3	28.732,2	30.912

5.2.5 Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Ist-Stand:

Als spezifischer Flächenbedarf für PV-Freiflächenanlagen werden standardmäßig 20 m²/kW_p angesetzt. Der Flächenbedarf ergibt sich durch die Multiplikation der installierten Nennleistung der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 5.2.2) mit diesem Flächenbedarfsfaktor und wird je Gemeinde summiert.

Szenario:

Aus der zusätzlichen Nennleistung und dem Flächenbedarfsfaktor von PV-Freiflächenanlagen in Höhe von 20 m²/kW wird der zusätzliche Flächenbedarf berechnet.

Die zusätzliche Nennleistung, die durch neue PV-Freiflächenanlagen installiert werden soll, lässt sich aus dem am Schieberegler eingestellten Deckungsanteil durch Photovoltaik auf Freiflächen ermitteln (vgl. Kapitel 5.2.2).

Die Fläche, die insgesamt benötigt wird, entspricht der Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des zusätzlichen Flächenbedarfs neuer PV-Freiflächenanlagen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 18.634 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: 3,188 MW_p
- standmäßiger Flächenbedarf: 20 m^2/kW_p = 2 ha/MW_p

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik auf Freiflächen		Nennleistung in MW			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	17%	3,223	-	3	6,4	-	6
vollständig	100%	3,223	14,476	18	6,4	29,0	35
technisches Potenzial	243%	3,223	39,379	43	6,4	78,8	85

5.2.6 Technisches Stromerzeugungspotenzial der Solarenergienutzung (Photovoltaik auf Freiflächen)

Das technische Stromerzeugungspotenzial der Solarenergie wird auf Grundlage der in der Gemeinde nutzbaren, landwirtschaftlichen Flächen ermittelt (siehe Tab. 5). Es umfasst die örtliche Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 5.2.1) und die zusätzlichen Erzeugungsmöglichkeiten auf voraussichtlichen geeigneten Flächen (siehe Tab. 5)

Tab. 5: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials von Photovoltaik auf Freiflächen in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial der Nutzung der Photovoltaik auf Freiflächen	Annahmen für die zusätzliche Nutzung der Photovoltaik auf Freiflächen
Bestand – bereits vor Ort erzeugter Strom aus bestehenden PV-Freiflächenanlagen + **zusätzliche Nutzung der Photovoltaik auf Freiflächen** – Stromproduktion, die zusätzliche neue PV-Anlagen auf grundsätzlich geeigneten Freiflächen erzeugen könnten	• Nutzbare landwirtschaftliche Flächen abzüglich Kleinstflächen (Flächen unter 1 ha) und Flächen mit bestehenden PV-Anlagen • Spezifischer Flächenbedarf einer PV-Freiflächenanlage in Höhe von 20 m^2/kW_p • Durchschnittliche Volllaststundenzahl der bayerischen PV-Freiflächenanlagen in Höhe von 1.094 h/a

Potenzialabschätzung für die zusätzliche Nutzung der Photovoltaik auf Freiflächen

Zur Ermittlung nutzbarer Freiflächen für Photovoltaik werden die in der Tab. 6 und Tab. 7 aufgeführten Flächen herangezogen. Ungeeignete Flächen (Tab. 8) und Kleinstflächen (Flächen unter 1 ha) werden von der weiteren Berechnung ausgeschlossen. Die verbleibenden Freiflächen werden mit den Gemeindeflächen verschnitten, um das lokale Flächenpotenzial für PV-Freiflächenanlagen den Gemeinden zuzuordnen.

Tab. 6: Flächen, die bei der Ermittlung der Potenzialflächen berücksichtigt wurden

Flächenkategorie	Bemerkung
Solarpotenzialflächen auf landwirtschaftlichen Flächen an Autobahnen	110-m-Streifen um Autobahnen und zweispurige Bundesstraßen mit Mittelstreifen, ab Fahrbahnrand
Solarpotenzialflächen auf landwirtschaftlichen Flächen an Eisenbahnstrecken	110-m-Streifen um Schienenverläufe, ab Gleisbettrand

Tab. 7: Flächen, die bei der Ermittlung der Potenzialflächen bisher nicht berücksichtigt werden konnten

Flächenkategorie	Bemerkung
Bodendenkmäler	Einzelfallenscheidung (Denkmalschutz)
Naturdenkmäler	Flächeninformationen stehen nicht im notwendigen Umfang bayernweit zur Verfügung.
Konversionsflächen (z. B. Deponien, Flächen ehemals militärischer Nutzung)	gemäß EEG als vergütungswürdige Standorte angesehen; derzeit jedoch keine hinreichend genauen Datensätze bayernweit verfügbar

Die Division des lokalen Flächenpotenzials für PV-Freiflächenanlagen durch den spezifischen Flächenbedarf einer PV-Freiflächenanlage in Höhe von 20 m²/kW_p nach eigener Annahme ermittelt die technisch mögliche, installierbare Leistung von PV-Freiflächenanlagen in einer Gemeinde.

Die Multiplikation der technisch möglichen, installierbaren Leistung von PV-Freiflächenanlagen in einer Gemeinde mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl bayerischer PV-Freiflächenanlagen in Höhe von 1.033 h/a nach eigener Berechnung ergibt das lokale, technische Potenzial für die zusätzliche Nutzung von Photovoltaik auf Freiflächen.

Tab. 8: Flächen, die für die PV-Nutzung ungeeignet sind

Flächenkategorie	Fläche im Detail
Anbauverbotszone	40 m zum Fahrbahnrand von Autobahnen und zweispurigen Bundesstraßen mit Mittelstreifen
Verkehrsflächen der Bahn	Verkehrsbegleitflächen (Bahnverkehr)
Ungeeignete Verkehrsbereiche	Brücken, Querbauten
	Unterquerungen von Fernstraßen und Gleisen
	Auf- und Abfahrtsbereiche von Bundesstraßen und Autobahnen
	Straßen durch Potenzialflächen
Bebaute Flächen und Siedlungsflächen mit zusätzlicher 300-m-Pufferzone	Wohnbauflächen
	Flächen gemischter Nutzung
	Flächen besonderer funktionaler Prägung
	Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen
	Friedhöfe
	PV-Freiflächen, Bestandsanlagen
Gewerbeflächen	Industrie- und Gewerbeflächen
	Halden
	Bergbaubetriebe
	Tagebau, Gruben und Steinbrüche
Schutzflächen	Natura-2000-Flächen
	Biotope (amtlich kartiert)
	Flächen des Ökoflächenkatasters
	Biosphärenreservate
	RAMSAR-Flächen
	Landschaftsschutzgebiete
	Nationalparke
	Naturschutzgebiete
	Überschwemmungsgebiete
Feuchtflächen	
Wasserflächen	
Wälder und naturnahe Flächen	

6 Schieberegler „Wasserkraft“

Die Startposition des Schiebereglers „Wasserkraft“ zeigt Ihnen den aktuellen Deckungsanteil der Wasserkraft am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde an. Wenn Sie den Regler Wasserkraft verschieben, stellen Sie für diese Gemeinde ein Szenario im Bereich Wasserkraft ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials (siehe Kapitel 6.6).

Wenn in einer Gemeinde nur eine Wasserkraftanlage vorliegt und diese eine Leistung kleiner gleich 30 kW hat, dann wird diese Wasserkraftanlage aus Datenschutzgründen nicht berücksichtigt.

6.1 Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt?

Ist-Stand:
Die Stromproduktion der bestehenden Wasserkraftanlagen wird aus der Datenbank des Energie-Atlas Bayern übernommen und je Gemeinde summiert.

Sofern für Anlagen keine Stromproduktion in der EEG-Meldung aufgeführt ist, wird diese errechnet. Dazu wird für Laufwasserkraftwerke die eingetragene Nennleistung (siehe Kapitel 6.2) mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl aller bayerischen Laufwasserkraftwerke in Höhe von 5.182 h/a nach eigener Berechnung multipliziert. Für Speicherkraftwerke wird die durchschnittliche Volllaststundenzahl aller bayerischen Speicherkraftwerke in Höhe von 3.500 h/a nach eigener Berechnung verwendet.

Szenario:
Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler „Wasserkraft“ eingestellten Deckungsanteil lässt sich eine künftige Stromproduktion aus Wasserkraft für eine Gemeinde ermitteln.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 47.903 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 2.301 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Wasserkraft		Stromproduktion in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	5%	2.301	-	2.301
vollständig	100%	2.301	45.602	47.903
technisches Potenzial	5%	2.301	0	2.301

6.2 Wie viel Leistung (MW) ist installiert?

Ist-Stand:
Die Nennleistung der bestehenden Wasserkraftanlagen wird aus der Datenbank des Energie-Atlas Bayern übernommen und je Gemeinde summiert.

Szenario:
Aus der zusätzlichen Stromproduktion und der durchschnittlichen Volllaststundenzahl aller bayerischen Laufwasserkraftwerke in Höhe von 5.182 h/a nach eigener Berechnung wird die zusätzliche Nennleistung von Wasserkraftanlagen ermittelt.

Die zusätzliche Stromproduktion, die z. B. durch die Modernisierung oder Nachrüstung bestehender Anlagen erzeugt werden soll (vgl. Kapitel 6.1), lässt sich aus der Differenz der am Schieberegler „Wasserkraft“ neu eingestellten Stromproduktion und der Stromproduktion der Bestandsanlagen ermitteln.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der Nennleistung der Bestandsanlagen und der zusätzlichen Nennleistung durch Modernisierung und Nachrüstung der bestehenden Anlagen gebildet. Es wird die künftige Nennleistung von Wasserkraftanlagen angezeigt, die benötigt wird, um den am Schieberegler eingestellten Anteil am Stromverbrauch durch den Einsatz von Wasserkraftanlagen zu decken.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 47.903 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 2.301 MWh/a
- Nennleistung der Bestandsanlagen: 0,471 MW
- durchschnittliche Volllaststundenzahl bayerischer Laufwasserkraftwerke: 5.182 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Wasserkraft		Stromproduktion in MWh/a			Nennleistung in MW		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	5%	2.301	-	2.301	0,471	-	0,471
vollständig	100%	2.301	45.602	47.903	0,471	8,800	9
technisches Potenzial	5%	2.301	0	2.301	0,471	0,000	0

6.3 Wie viele Anlagen werden benötigt?

Es konnte kein passender Parameter angesetzt werden, der für die Berechnung des Zubaus von Wasserkraftanlagen geeignet ist. Um auf eine zusätzliche Anlagenanzahl zu schließen, würde die zusätzliche Leistung durch die durchschnittliche Anlagenleistung dividiert werden. Die Leistungswerte von Wasserkraftanlagen können jedoch sehr unterschiedlich sein, sodass ein vermeintlicher Leistungsmittelwert keine Aussagekraft hat. Daher wird die Anlagenanzahl für Wasserkraftanlagen nicht dargestellt.

6.4 Wie viel Treibhausgas-Emissionen (t CO_2-Äq./a) werden eingespart?

Ist-Stand:

Die Stromproduktion der Bestandsanlagen (vgl. Kapitel 6.1) multipliziert mit dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 802,40 g CO_2-Äq./kWh nach UBA (2022) ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen, die durch den Einsatz von bestehenden Wasserkraftanlagen eingespart wird.

Die so ermittelten eingesparten Treibhausgas-Emissionen der Bestandsanlagen werden für jede Gemeinde summiert und ergeben die im Ort vermiedenen Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von bestehenden Wasserkraftanlagen.

Szenario:

Das Produkt aus der durch Modernisierung und Nachrüstung bestehender Anlagen erzielten Stromproduktion (vgl. Kapitel 6.1) und dem spezifischen Vermeidungsfaktor in Höhe von 802,40 g CO_2-Äq./ kWh ergibt die zusätzlich eingesparte Menge an Treibhausgas-Emissionen.

Der angezeigte Wert entspricht der Summe der durch Bestandsanlagen und durch deren Modernisierung oder Nachrüstung vermiedenen Treibhausgas-Emissionen.

Beispiel „Mustergemeinde“:

- Stromverbrauch: 47.903 MWh/a
- Stromproduktion der Bestandsanlagen: 2.301 MWh/a
- spezifischer Vermeidungsfaktor: 802,40 g CO_2-Äq./kWh
  = 0,80240 t CO_2-Äq./MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Wasserkraft		Stromproduktion in MWh/a			CO_2-Äq.-Einsparung in t CO_2-Äq. / a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	5%	2.301	-	2.301	1.846	-	1.846
vollständig	100%	2.301	45.602	47.903	1.846	36.591,2	38.438
technisches Potenzial	5%	2.301	0	2.301	1.846	0,0	1.846

6.5 Wie viel Fläche wird beansprucht?

Die Flächenbeanspruchung durch die Wasserkraft bezieht sich vor allem auf die bauliche Anlage selbst, die meist im Gewässer errichtet wird. Abstandsregelungen für Wasserkraftanlagen liegen nicht vor. Da die Anlagengröße stark variieren kann, gibt es keinen geeigneten Parameter, der grundlegend für eine Berechnung der Flächenbeanspruchung durch Wasserkraftanlagen genutzt werden kann. Daher wurde auf ein Anzeigefeld der Flächeninanspruchnahme durch Wasserkraftanlagen verzichtet.

6.6 Technisches Stromerzeugungspotenzial der Wasserkraftnutzung

Die Bayerische Strategie zur Wasserkraft des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (2012) beinhaltet einen 10-Punkte-Fahrplan für eine ökologische und naturverträgliche Wasserkraftnutzung. Dieser Maßnahmenplan sieht unter anderem vor, Wasserkraftpotenziale vorrangig z. B. durch Modernisierungs- und Nachrüstmaßnahmen an großen Wasserkraftanlagen (Leistung > 1 MW) und durch die Nutzung bestehender, bisher nicht energetisch genutzter Querbauwerke, deren Rückbau auch langfristig nicht vorgesehen ist, zu realisieren.

Im Mischpult setzt sich das technische Stromerzeugungspotenzial der Wasserkraftnutzung in einer Gemeinde derzeit aus dem bereits vor Ort erzeugten Strom aus bestehenden Wasserkraftanlagen (vgl. Kapitel 6.1) und dem zusätzlichen Potenzial an bestehenden Querbauwerken zusammen (siehe Tab. 9).

Tab. 9: Grundlagen für die Berechnung des Potenzials der Wasserkraftnutzung in einer Gemeinde

Berechnungsmethode für das technische Potenzial Wasserkraftnutzung	Annahmen für die zusätzlich nutzbare Wasserkraft
Bestand – bereits vor Ort erzeugter Strom aus bestehenden Wasserkraftanlagen + **zusätzliche Nutzung Wasserkraft** – Stromproduktion durch Nutzung bestehender, bisher nicht energetisch genutzter Querbauwerke	• Mittlere Neubaupotenziale an bestehenden Querbauwerken gemäß § 35 (3) WHG aus der Untersuchung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in Zusammenarbeit mit den Wasserwirtschaftsämtern, Regierungen und Kreisverwaltungsbehörden • Modernisierungs- und Nachrüstungspotenziale an bestehenden großen Wasserkraftanlagen werden von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellt und liegen derzeit nur flussgebietsbezogen vor. Deshalb ist die Ausweisung von Modernisierungs- und Nachrüstungspotenzialen als technisches Stromerzeugungspotenzial der Wasserkraftnutzung im Mischpult, das auf die räumliche Gliederung der Verwaltungseinheit aufbaut, nicht möglich. • Weitere Potenziale zum Ausbau der Wasserkraft können sich im Rahmen von Flusssanierungen ergeben. Diese sind aktuell nicht berücksichtigt. • Durchschnittliche Betriebsstundenzahl von, in Bezug auf Baugröße und Bauart zur Untersuchung nach § 35 (3) WHG passenden, bayerischen Wasserkraftanlagen in Höhe von 8.377 h/a

Potenzialabschätzung Wasserkraftnutzung

Das technische Potenzial einer Wasserkraftanlage errechnet sich aus der allgemeinen Leistungsformel:
$P = \eta * g * Q * H$

Die Leistung P einer Wasserkraftanlage wird bestimmt durch die zur Verfügung stehende Fallhöhe H, den Durchfluss Q und den Wirkungsgrad η (g = Erdbeschleunigung).

Bei der oben genannten Untersuchung wurden die Querbauwerke betrachtet, an denen ein mittlerer Abfluss von mindestens 2 m³/s zur Verfügung steht. Als weitere Randbedingung wird für eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Wasserkraftanlage eine Mindestfallhöhe von 1 m vorausgesetzt. Weiterhin wurde ein rechnerisches Mindestpotenzial von 100 kW angesetzt. Das Resultat ist eine Aussage zur grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit, basierend auf den wasserrechtlichen Mindestanforderungen nach §§ 33–35, 27, 6 WHG sowie anderen öffentlich-rechtlichen Anforderungen, insbesondere naturschutzfachlichen Vorschriften. Allerdings geben diese vorliegenden Ergebnisse zu den untersuchten Querbauwerken nur einen ersten Hinweis für Wasserkraftinteressenten. Bei allen infrage kommenden Standorten müssen immer weitere, detaillierte Untersuchungen und insbesondere Genehmigungsverfahren im konkreten Einzelfall folgen.

Multipliziert man das mittlere Neubaupotenzial (kW) an bestehenden Querbauwerken pro Gemeinde mit der durchschnittlichen Betriebsstundenzahl[5] von, in Bezug auf Baugröße und Bauart zur Untersuchung nach § 35 (3) WHG passenden, bayerischen Wasserkraftanlagen in Höhe von 8.377 h/a nach eigener Berechnung, erhält man das zusätzliche elektrische Arbeitspotenzial der Wasserkraftnutzung je Gemeinde.

[5] Betriebsstunden = Zeitraum, in der eine Wasserkraftanlage in Betrieb ist; im Gegensatz zu Volllaststunden, die sich rechnerisch durch den Quotienten aus jährlicher Stromerzeugung und Ausbauleistung ergeben.

Literaturverzeichnis

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2023): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern. Stand: Februar 2021. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/03/STRERZ22A11_Abg_0223.pdf (Abruf im August 2023)

Bayerisches Landesamt für Landwirtschaft (2022): Biogas in Zahlen – Bayern zum 31.12.2021. Biogas-Betreiber-Datenbank Bayern (BBD), www.lfl.bayern.de/iba/energie/031607/ (Abruf im August 2022)

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2023): Bayerischer Agrarbericht 2022. Fakten und Schlussfolgerungen. – München. https://www.agrarbericht.bayern.de/landwirtschaft/nachwachsende-rohstoffe.html (Abruf im August 2023)

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2012): Bayerische Strategie zur Wasserkraft. 10-Punkte-Fahrplan für eine ökologische und naturverträgliche Wasserkraftnutzung. – München. www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/fluesse_seen/doc/10punktefahrplan.pdf (Abruf im August 2023).

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2014): Bayerischer Windatlas. Windernte und Energieertrag: Wie Windenergieanlagen wirken und sich rechnen. – München. www.bestellen.bayern.de/shoplink/07000020.htm (Abruf im August 2023)

Bayerische Vermessungsverwaltung (2013): Gebäudedaten aus der zweiten Detaillierungsstufe des 3D-Gebäudemodells von Bayern (Level of Detail 2, LoD2), Stand 2013. – München.

Bayerische Vermessungsverwaltung (2020a): Gebäudedaten aus der ersten Detaillierungsstufe des 3D-Gebäudemodells von Bayern (Level of Detail 1), Stand 2019. – München.

Bayerische Vermessungsverwaltung (2020b): Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem, Tatsächliche Nutzung, Stand 2019. – München.

Bayerische Vermessungsverwaltung (2021): Produkt, 3D-Produkte, 3D-Gebäudemodell. – München. www.ldbv.bayern.de/produkte/3dprodukte/3d.html (Abruf im August 2023)

bifa Umweltinstitut GmbH (2015): Eigene Erhebung (Mittelwert aus 34 Anlagen im Leistungsbereich (FWL) von 4,1 MW bis 67 MW (elektrische Nennleistung: 0,75 bis 20 MWel; ηel: 11 % bis 29 %)). – Augsburg.

Bundesverband WindEnergie e.V. (2022): Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022, S. 36 https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf (Abruf August 2023)

Bringezu, S.; Schütz, H. (2008): Auswirkungen eines verstärkten Anbaus nachwachsender Rohstoffe im globalen Maßstab. – In: Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis“, 17. Jg., Nr. 2, Flächennutzungskonflikte: Ursachen, Folgen und Lösungsansätze, S. 12–23 www.tatup.de/index.php/tatup/article/download/1027/1919 (Abruf im August 2023).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2023): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Tabelle 3: Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien 1990 bis 2022, Stand: Februar 2023, MS-Excel-Dokument, https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2022-excel.xlsx?__blob=publicationFile&v=5 (Abruf im August 2023)

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2020): Globalstrahlung Jahresmittel, Klimaperiode 1981-2010. – Offenbach am Main. www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_mvs.html?nn=16102 (Abruf im August 2023) und www.opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/radiation_global/ (Abruf im August 2023)

DIN EN 61400-2 (VDE 0127-2) (2015-05): Windenergieanlagen Teil 2, Anforderungen für kleine Windenergieanlagen (IEC 61400-2: 2013); Deutsche Fassung EN 61400-2: 2014.

DIN V 4701-10, Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.

Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 08.08.2020 (BGBl. I S. 1728), das durch Artikel 18a des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237) geändert worden ist". www.gesetze-im-internet.de/geg/ (Abruf im August 2023)

Gößwein, S.; Hiendlmeier, S. (2020): Energieholzmarkt Bayern 2018. Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch. Abschlussbericht 06/2020. – Freising. www.lwf.bayern.de/mam/cms04/forsttechnik-holz/dateien/energieholzmarkt_2018.pdf (Abruf im August 2023).

Hartmann H.; Reisinger, K.; Turowski, P.; Roßmann, P. (2013): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. 3., vollständig überarbeitete Auflage, September 2013; 192 S. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. und Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. www.mediathek.fnr.de/handbuch-bioenergie-kleinanlagen.htmlhttps://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/h/a/handbuchkleinanlagen2013-web_1.pdf (Abruf im August 2023)

Kaltschmitt, M.; Streicher, W.; Wiese, A. (2014): Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. – korrigierter Nachdruck 2014: 931 S., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Knigge, W.; Schulz, H. (1966): Grundriss der Forstbenutzung. - Paul Parey Verlag. 584 S., Hamburg u. Berlin.

Lauf, T., Memmler, M., Schneider, S. (2022): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2021. In: Umweltbundesamt: climate change 50/2021. – 170 S., Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-12-09_climate-change_50-2022_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2021_bf.pdf (Abruf im August 2023).

Quaschning, Volker (2009): Regenerative Energiesysteme Technologie – Berechnung – Simulation. – 6. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Hanser Verlag, München.

Rauh, S. M. (2010): Konkurrenz um Biomasse – Entwicklung eines Landnutzungsmodells zur Ableitung möglicher zukünftiger Entwicklungen in der Landwirtschaft hinsichtlich der Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Energiebiomasse. – In: Dissertation an der Technische Universität München. – München. www.mediatum.ub.tum.de/doc/972970/972970.pdf (Abruf im August 2021).

Rauh, S. M. (2011): „Wie viel Biogas verträgt Bayern?“ – Entwicklung der Biogaserzeugung unter Berücksichtigung ausgewählter ökologischer Faktoren. – In: Biogas Forum Bayern Nr. V -17/2013, Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (Hrsg.). – Freising. www.biogas-forum-bayern.de/media/files/0002/Wie-viel-Biogas-vertragt-Bayern.pdf (Abruf im August 2023).

Röhling, I.; Wild, G. (2008): Biogasproduktion in Bayern 2007. – www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iba/dateien/bbd_biogasproduktion_in_bayern_2007.pdf (Abruf im August 2023).

Suisse Eole – Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz (o. J.): Ertrags-rechner. - www.wind-data.ch/tools/powercalc.php (Abruf im August 2023).

Thünen-Institut (2012 a): Dritte Bundeswaldinventur (2012) – Ergebnisdatenbank. Zuwachs des Vorrates [1000 m³/a] nach Land und Baumartengruppe, Filter: Periode=2002-2012, Stand 26.08.2016. www.bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=5.02%20Baumartengruppe&prRolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=5.02 (Abruf im August 2021).

Thünen-Institut (2012 b): Dritte Bundeswaldinventur (2012) – Ergebnisdatenbank. Waldfläche [ha] nach Land und Waldspezifikation, Filter: Jahr=2012, Stand 26.08.2016. www.bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=1.01%20Waldspezifikation&prRolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=1.01 (Abruf im August 2023).

Zerhusen, B.; Siddiqui, S.; Effernger, M. (2015): THG-Bilanz für eine große Stichprobe von Biogas-Anlagen in Bayern. In: Statusseminar des LfL Arbeitsschwerpunktes Regenerative Energien, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). – München.

Impressum:

Herausgeber:
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Postanschrift:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Im Auftrag des:
Bayerischen Staatsministeriums für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi)

Bearbeitung:
LfU, Ökoenergie-Institut Bayern, Julia Koch, Joachim Nittka

Projektpartner, technische Realisierung:
Bayerische Vermessungsverwaltung

Projektpartner, fachliche Expertise:
bifa Umweltinstitut GmbH

G. A. S. – planen-bauen-forschen

Bildnachweis:
Abb. 1: LfU

Stand:
Oktober 2023

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

BAYERISCHE VERMESSUNGS VERWALTUNG

bifa Umweltinstitut

G. A. S. SAHNER ARCHITEKTEN planen bauen forschen