



Energie-Atlas Bayern

# Mischpult

## „Energienmix Bayern vor Ort“

### Information zur Berechnung

Im Mischpult wird Ihnen aufgezeigt, welchen Beitrag erneuerbare Energien – Windenergie, Biomasse, Photovoltaik-Dachfläche, Photovoltaik-Freifläche und Wasserkraft – zur Deckung des Stromverbrauchs in den bayrischen Gebietskörperschaften – Gemeinde(n), Landkreis(e), Regierungsbezirk(e) – derzeit leisten und künftig leisten können.

Im Folgenden wird die Berechnungsweise des Mischpults am Beispiel einer Gemeinde dargestellt:

- Allgemeine Hinweise
-  Schieberegler Windenergie
-  Schieberegler Biomasse
-  Schieberegler Photovoltaik-Dachfläche
-  Schieberegler Photovoltaik-Freifläche
-  Schieberegler Wasserkraft

### Allgemeine Hinweise

Ausgehend vom Ist-Stand können Sie je nach Einstellung der Schieberegler verschiedene Szenarien zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entwickeln. Entsprechend Ihrer gewählten SchiebereglerEinstellung können Sie in den Eingabefeldern, die sich direkt unterhalb der Schieberegler befinden, den Anteil der erneuerbaren Energieträger am Stromverbrauch der ausgewählten Gebietskörperschaft in Prozent ablesen. Nach einem Klick auf die Schaltfläche „Ertrag, Leistung, Anzahl, CO<sub>2</sub>-Einsparung, Fläche“ öffnet sich eine Tabelle, in der zusätzlich fünf Aussagen je Energieträger angezeigt werden. Hier finden Sie Antworten auf folgende Fragen:

- Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt?
- Wie viel Leistung (MW) ist installiert?
- Wie viele Anlagen werden benötigt?
- Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?
- Wie viel CO<sub>2</sub>-Emissionen (t/a) werden eingespart?

Eine Darstellung von Anlagenanzahl und Flächenbeanspruchung für Wasserkraft erfolgt nicht, da hierfür keine belastbare Datenbasis zu Grunde gelegt werden konnte.

Die angezeigten Werte sind jeweils, mit Ausnahme der Anlagenanzahl, kaufmännisch gerundet. Die angezeigten Werte der Anlagenanzahl werden immer aufgerundet.

Mit einer farblichen Markierung in den Säulen hinter den Schieberegler wird jeweils der Anteil des technischen Potenzials der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch angezeigt. Dies soll zur Orientierung und Prüfung dienen, ob die gewählten SchiebereglerEinstellungen realistischen Szenarien entsprechen.

Das Mischpult zeigt Ihnen technische Stromerzeugungspotenziale für Windenergie, Biomasse, Photovoltaik-Dachfläche, Photovoltaik-Freifläche und Wasserkraft an. Das umsetzbare Potenzial fällt immer kleiner aus als das technische Potenzial, da auch wirtschaftliche Restriktionen und Hemmnisse u.a. bei der Markteinführung berücksichtigt werden müssen.

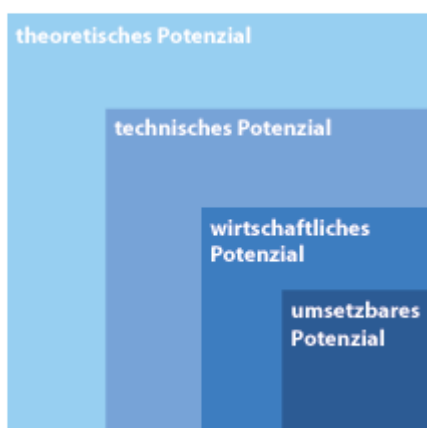


Abb. 1:  
Potenzialbegriffe

Das im Mischpult abgebildete 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 100-prozentige Abdeckung des Bedarfs erfordert daher ausreichenden Netzausbau, konventionelle Kraftwerke, Stromspeicherung oder Demand Side Management.

Den Schieberegler können Sie auch über die Markierung des Anteils des technischen Potenzials am Stromverbrauch hinaus verschieben. Dies ist dann sinnvoll, wenn vor Ort zusätzliche Potenziale erkennbar sind, die sich z.B. aufgrund interkommunaler Zusammenarbeit bei der Biomassennutzung, von Einzelfallprüfungen bei der Genehmigung von Wind- und PV-Freiflächenanlagen oder neuen effizienteren Technologien ergeben können. Ein rot eingefärbter Schieberegler signalisiert Ihnen, dass Sie mit der gewählten Einstellung eine Potenzialüberschreitung nach den in folgenden Kapiteln beschriebenen Berechnungsmethoden eingegangen sind.

#### Stand der verwendeten Daten

Zum einen werden im Mischpult aktuell bereitgestellte Daten des Bayerischen Landesamts für Statistik verwendet, um jeweils den Stromverbrauch zu ermitteln (vgl. [Informationen zu den Rahmendaten](#)).

Zum anderen stammen die Daten zu den Anlagen für Windenergie, Biomasse, Photovoltaik-Dachfläche, Photovoltaik-Freifläche und Wasserkraft aus dem Energie-Atlas Bayern. Es werden Daten der Anlagen verwendet, die am 31.12. des Jahres in Betrieb waren, zu dem die EEG-Meldungen in aufbereiteter Form vorliegen. Die Daten aus den EEG-Meldungen stehen jeweils am 31.07. des Folgejahres zur Verfügung, die anschließende Aufbereitung dauert mehrere Monate.

Zu diesem Zeitpunkt sind die Anlagendaten im Energie-Atlas Bayern und im Mischpult (Statistik-Layer) identisch. Die Karten zum jeweiligen EEG-Anlagenbestand des Energie-Atlas Bayern werden jedoch kontinuierlich um Nutzermeldungen und um Meldungen aus dem Anlagenregister der Bundesnetzagentur (Inbetriebnahmen und Stilllegungen) erweitert. Diese Erweiterungen fließen erst beim nächsten Update in die Statistik-Layer ein, und stehen erst dann im Mischpult zur Verfügung.

Aufgrund dessen sowie aufgrund durchgeführter Filterprozesse und getroffenen Annahmen in der verwendeten Datengrundlage des Energie-Atlas Bayern kann es zu Abweichungen zwischen den angezeigten Werten im Mischpult und den zusätzlich einschaltbaren Karten im Energie-Atlas Bayern kommen.

## Schieberegler Windenergie

In seiner Ausgangsposition zeigt Ihnen der Schieberegler Windenergie den aktuellen Deckungsanteil der Windenergie am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde an. Sofern Sie den Regler Windenergie verschieben, so stellen Sie ein Szenario des Anteils der Stromerzeugung aus Windenergie am Stromverbrauch der ausgewählten Gemeinde ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials ab Seite 7.

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

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung sowie die elektrische Arbeit bestehender Windenergieanlagen wird jeweils aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der jährlichen EEG-Meldung der jeweiligen Anlage übernommen.

Bei Anlagen, für die keine elektrische Arbeit in ihrer EEG-Meldung aufgeführt ist, wird diese errechnet. Dazu wird die eingetragene elektrische Nennleistung mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl von 1.600 h/a multipliziert (vgl. IWES 2011: 4, 9, 13).

Die so ermittelten Stromerträge der Bestandsanlagen werden je Gemeinde summiert und ergeben den aktuellen Stromertrag aus Windenergie pro Gemeinde.

#### Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler Windenergie eingestellten Deckungsanteil können Sie einen künftigen Stromertrag aus Windenergie für Ihre Gemeinde ermitteln.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Stromertrag aus Windenergie in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
<b>Ist-Stand</b>	34 %	20.450	-	20.450
<b>vollständig</b>	100 %	20.450	39.550	60.000
<b>technisches Potenzial</b>	115 %	20.450	48.550	69.000

### Wie viel Leistung (MW) ist installiert?

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung bestehender Windenergieanlagen wird jeweils aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der EEG-Meldung der jeweiligen Anlage übernommen und je Gemeinde summiert.

#### Szenario:

Aus der Differenz des am Schieberegler Windenergie neu eingestellten Stromertrags und des Stromertrags der Bestandsanlagen lässt sich ein zusätzlicher Stromertrag ermitteln, der durch neue Windenergieanlagen erzeugt werden soll.

Je nach Standortqualität lässt sich aus dem zusätzlichen Stromertrag und der spezifischen äquivalenten Volllaststundenzahl des betrachteten Gebietes, ermittelt über die vorhandenen Potenzialfläche (dunkelgrüne Flächen der Gebietskulisse Windkraft), die zusätzliche Nennleistung von neuen Windenergieanlagen ermitteln. Für Gebiete ohne dunkelgrüne Potenzialflächen werden durchschnittliche Volllaststunden von 1.600 h/a angenommen.

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

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde weisen die bestehenden Windenergieanlagen unterschiedliche Nennleistungen auf. (bspw. 1 Anlagen mit 1,5 MW, 4 Anlagen mit 2,3 MW, 2 Anlagen mit 2,5 MW → 7 Anlagen mit 15,7 MW)
- äquivalente Volllaststundenzahl der Mustergemeinde: 1.851 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Stromertrag aus Windenergie in MWh/a			Nennleistung der Windenergieanlagen in MW		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	34 %	20.450	-	20.450	16	-	16
vollständig	100 %	20.450	39.550	60.000	16	21	37
technisches Potenzial	115 %	20.450	48.550	69.000	16	26	42

### Wie viele Anlagen werden benötigt?

Ist-Stand:

In die Berechnung gehen Anlagen ein, die nach EEG eine Einspeisevergütung erhalten und eine tatsächlich installierte elektrische Nennleistung von mindestens 500 kW aufweisen. Kleinwindenergieanlagen wurden nicht berücksichtigt.

Die elektrische Nennleistung bestehender Windenergieanlagen eines Gebietes differiert und ist daher nicht einheitlich.

Szenario:

Neue Windenergieanlagen fließen mit einer Nennleistung von 3 MW in die Berechnung ein. Die ermittelte zusätzliche elektrische Nennleistung wird durch die Nennleistung einer neuen Anlage (3 MW) geteilt, um die zusätzliche Anzahl an Windenergieanlagen zu berechnen.

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

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde weisen die bestehenden Windenergieanlagen unterschiedliche Nennleistungen auf. (bspw. 1 Anlagen mit 1,5 MW, 4 Anlagen mit 2,3 MW, 2 Anlagen mit 2,5 MW → 7 Anlagen mit 15,7 MW)
- Nennleistung einer neuen Anlage: 3 MW

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Nennleistung der Windenergieanlagen in MW			Anlagenanzahl		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	34 %	16	-	16	7	-	7
vollständig	100 %	16	21	37	7	7	14
technisches Potenzial	115 %	16	26	42	7	9	16

## Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

### Ist-Stand:

Als spezifischer Flächenbedarf werden 5 ha pro MW installierter Leistung angenommen. Der Flächenbedarf ergibt sich durch Multiplikation der installierten elektrischen Nennleistung der Bestandsanlagen mit dem o.g. Faktor des spezifischen Flächenbedarfs.

### Szenario:

Der o.g. spezifische Flächenbedarfsfaktor gilt gleichermaßen für die Berechnung des Flächenbedarfs zusätzlicher Neuanlagen. Die Fläche, die benötigt wird, um den am Schieberegler eingestellten Deckungsanteil durch Windenergie zu realisieren, wird über die Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des Flächenbedarfs zusätzlicher Windenergieanlagen ermittelt.

### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde weisen die bestehenden Windenergieanlagen unterschiedliche Nennleistungen auf. (bspw. 1 Anlagen mit 1,5 MW, 4 Anlagen mit 2,3 MW, 2 Anlagen mit 2,5 MW → 7 Anlagen mit 15,7 MW)
- Flächenbedarfsfaktor: 5 ha/MW

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Nennleistung der Windenergieanlagen in MW			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
<b>Ist-Stand</b>	34 %	16	-	20.450	80	-	80
<b>vollständig</b>	100 %	16	21	37	80	105	185
<b>technisches Potenzial</b>	115 %	16	26	42	80	130	210

## Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO<sub>2</sub>-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Megawattstunde Strom liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2016 bei 0,501 t. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien nach Umweltbundesamt (2014: Emissionsbilanz 2013; 2017: Emissionsbilanz 2016) nebst Zerhusen et al. (2015; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 nach der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2017) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017).

Regional bedeutet dies, dass jede Megawattstunde Strom, die in einer Gebietskörperschaft durch erneuerbare Energieträger erzeugt wird, CO<sub>2</sub>-Äq. einspart. Wie viel CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart wird, hängt neben dem derzeitigen CO<sub>2</sub>-Äq.-Ausstoß des deutschen Strommix auch von der Art der erneuerbaren Energie ab. Eine Windenergieanlage emittiert 0,0107 t CO<sub>2</sub>-Äq. je erzeugter Megawattstunde (vgl. Umweltbundesamt 2017: 48; Emissionsbilanz 2016).

Die Differenz aus den spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen des deutschen Strommix und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen einer Windenergieanlage ergibt die Menge an CO<sub>2</sub>-Äq., die durch die Produktion einer Megawattstunde Strom aus einer Windenergieanlage eingespart werden kann. Der CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor durch den Einsatz von Windenergieanlagen beträgt damit 0,4903 t/MWh.

### Ist-Stand:

Der Stromertrag der Bestandsanlagen (MWh/a) multipliziert mit dem CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor von Windenergieanlagen (0,4903 t/MWh) ergibt die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung (t/a) durch bestehende Windenergieanlagen.

#### Szenario:

Der o.g. CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor gilt gleichermaßen für die Berechnung zusätzlich installierter Windenergieanlagen. Die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung, die gewonnen wird, wenn der am Schieberegler eingestellte Deckungsanteil realisiert werden würde, wird über die Summe der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung durch Bestandsanlagen und der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung durch zusätzliche Windenergieanlagen ermittelt.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor Windenergie: 0,4903 t/MWh)

Deckung des Stromverbrauchs durch Windenergie		Stromertrag aus Windenergie in MWh/a			CO <sub>2</sub> -Äq.-Einsparung durch Windenergie in t/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	34 %	20.450	-	20.450	10.027	-	10.027
vollständig	100 %	20.450	39.550	60.000	10.027	19.391	29.418
technisches Potenzial	115 %	20.450	48.550	69.000	10.027	23.804	33.831

### Technisches Stromerzeugungspotenzial aus Windenergie

Das technische Stromerzeugungspotenzial aus Windenergie setzt sich aus dem bereits vor Ort erzeugtem Strom aus bestehenden Windenergieanlagen und dem Stromertrag aus zusätzlich installierbaren neuen Windenergieanlagen zusammen.

#### Bestehende Windenergieanlagen

Es handelt sich um Anlagen, die nach EEG eine Einspeisevergütung erhalten und eine installierte Nennleistung von mindestens 500 kW aufweisen. Kleinwindenergieanlagen wurden nicht berücksichtigt.

Die Berechnung der elektrischen Arbeit der bestehenden Windenergieanlagen pro Gemeinde erfolgt wie auf Seite 4 unter „Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt? – Ist-Stand“ erläutert.

#### Zusätzlich installierte, neue Windenergieanlagen

Neue Windenergieanlagen fließen mit einer angenommenen elektrischen Nennleistung von 3 MW in die Berechnung ein. Grundsätzlich wird die äquivalente Volllaststundenzahl der spezifischen Gemeinde angesetzt, über die vorhandenen Potenzialflächen (dunkelgrüne Flächen der Gebietskulisse Windkraft) ermittelt. Für Gebiete ohne dunkelgrüne Potenzialflächen werden durchschnittliche Volllaststunden von 1.600 h/a angenommen.

#### Potenzialabschätzung Windenergie

Als Potenzialflächen für neue Windenergieanlagen wurden folgende Flächen berücksichtigt:

- Gebiete aus der Gebietskulisse Windkraft (**ACHTUNG:** Die Darstellung der Gebietskulisse Windkraft beruht bereits auf den Daten aus dem Bayerischen Windatlas 2014. Die Potenzialabschätzung des Mischpults (nach Windatlas 2010) wird noch entsprechend nachgeführt werden.) mit Windgeschwindigkeiten größer als 5 m/s (= dunkelgrüne Flächen) unter nachträglichem Ausschluss militärischer Schutzgebiete (rote Ausschlussbereiche) (vgl. [Übersicht Berechnungsgrundlage Gebietskulisse Windkraft](#))
- in Regionalplänen rechtsverbindlich festgesetzte Vorranggebiete für die Errichtung von Windkraftanlagen

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

Bei der Klassifizierung der Potenzialflächen wurden drei Typen von Flächenformen unterschieden. Die daraus resultierende unterschiedliche Bestückungsdichte fließt in die Berechnung ein.

Der Rotordurchmesser einer modernen Windenergieanlage für Schwachwindstandorte liegt bei rund 100 m. Der Abstand zwischen den Anlagen sollte mindestens dem 5-fachen Rotordurchmesser entsprechen, um gegenseitige Verschattungseffekte zu umgehen. Ein minimaler Abstand von 100 m zum nächst gelegenen Rand der Potenzialfläche muss gewährleistet sein.

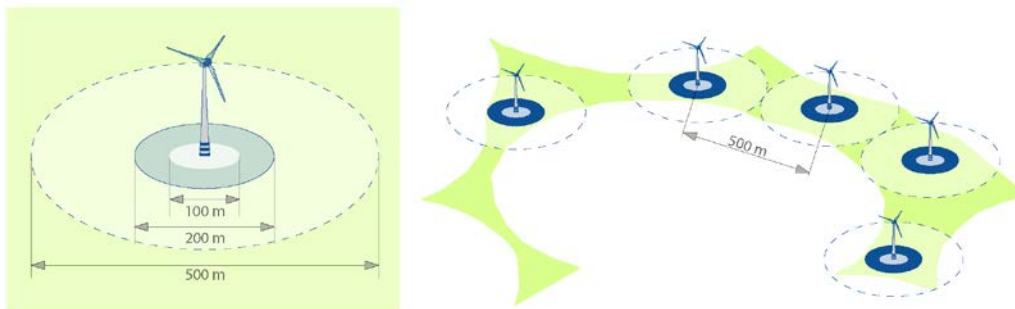


Abb. 2: Abstand zwischen Windenergieanlagen (5-facher Rotordurchmesser)

Der Aufstellung von Einzelanlagen wirkt der Ausschluss aller Flächen entgegen, die aufgrund der geometrischen Gegebenheiten und / oder der Windverhältnisse Erträge unter einem bestimmten Schwellenwert aufweisen. Es werden ausschließlich Flächen berücksichtigt, auf denen mindestens drei Windenergieanlagen ( $> 3 \times 2,7 \text{ MW}$ ) errichtet werden können. Die maximale elektrische Nennleistung, die sich aus der Anlagendichte ergibt, wird um die Summe der elektrischen Nennleistung aller Bestandsanlagen bereinigt.

Aus der Überlagerung der Leistungskurven dreier marktüblicher Windenergieanlagen, mit einem aus der standortspezifischen mittleren Windgeschwindigkeit abgeleiteten Windprofil, ergibt sich eine Ertragskurve. Dieser Kurve wird die Anzahl von Stunden entnommen, die eine Windenergieanlage der vorgegeben Nennleistung, unter Vollast zur Erwirtschaftung des Jahresertrags laufen muss.

Über eine Flächengewichtung lassen sich aus den, auf die Potenzialfläche bezogenen Volllaststunden, gemeindespezifische Volllaststundenzahlen ermitteln. Das technische Potenzial ergibt sich aus der Korrelation der festgelegten elektrischen Nennleistung aller auf der Gemeindefläche erstellbarer neuer Anlagen (3 MW) mit den ermittelten Volllaststunden sowie dem Stromertrag bestehender Windenergieanlagen.



## Schieberegler Biomasse

Biomasseanlagen werden im Energie-Atlas Bayern sowie im Mischpult unterschieden nach Biogasanlagen, Biomasseheizkraftwerke und sonstigen Biomasseanlagen.

Unter sonstige Biomasseanlagen werden Anlagen gefasst, die bisher aufgrund der Veröffentlichung nach dem EEG weder eindeutig als Biogasanlage noch eindeutig als Biomasseheizkraftwerk identifiziert werden konnten. Für die Berechnung im Mischpult werden diese Anlagen wie Biomasseheizkraftwerk behandelt.

Die Daten zu EEG-gemeldeten Biomasseanlagen stammen aus dem Energie-Atlas Bayern. Es werden ausschließlich Daten der Anlagen verwendet, die bis 31.12. des Jahres in Betrieb gegangen sind, zu dem die EEG-Meldungen in aufbereiteter Form vorliegen. Daten von Anlagen ohne EEG-Meldung stammen vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie aus der Emissionsberichterstattung beim Bayerischen Landesamt für Umwelt.

In seiner Ausgangsposition zeigt Ihnen der Schieberegler Biomasse den aktuellen Deckungsanteil der Biomasse am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde an. Sofern Sie den Regler Biomasse verschieben, so stellen Sie ein Szenario des Anteils der Stromerzeugung aus Biomasse am Stromverbrauch der ausgewählten Gemeinde ein. Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials ab Seite 13. Für den Zubau werden derzeit ausschließlich landwirtschaftliche Biogasanlagen berücksichtigt.

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

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung sowie die elektrische Arbeit der bestehenden Biomasseanlagen werden aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der jährlichen EEG-Meldung der jeweiligen Anlage, des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten oder der Emissionsberichterstattung von 2012 beim Bayerischen Landesamt für Umwelt übernommen.

Bei Anlagen, für die keine elektrische Arbeit (in ihrer EEG-Meldung) aufgeführt ist, wird diese errechnet. Dazu wird die eingetragene elektrische Nennleistung mit der durchschnittlichen Vollaststundenzahl der bayerischen Biogasanlagen von 7.197 h/a (vgl. LfL 2008: 2; Biogasproduktion in Bayern 2007) bzw. der bayerischen Biomasseheizkraftwerke von 5.585 h/a multipliziert.

Die so ermittelten Stromerträge der Bestandsbiomasseanlagen werden je Gemeinde summiert und ergeben den aktuellen Stromertrag aus Biomasse pro Gemeinde.

#### Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler Biomasse eingestellten Deckungsanteil können Sie einen künftigen Stromertrag aus Biomasseanlagen für Ihre Gemeinde ermitteln.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromertrag aus Biomasse in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15 %	8.706	-	8.706
vollständig	100 %	8.706	51.294	60.000
technisches Potenzial	76 %	8.706	36.894	45.600

## Wie viel elektrische Leistung ( $MW_{el}$ ) ist installiert?

### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung der Bestandsbiomasseanlagen wird aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der EEG-Meldung der jeweiligen Anlage, des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten oder der Emissionsberichterstattung von 2012 beim Bayerischen Landesamt für Umwelt übernommen und je Gemeinde summiert.

### Szenario:

Aus der Differenz des neu eingestellten Stromertrags und des Stromertrags der Bestandsbiomasseanlagen lässt sich ein zusätzlicher Stromertrag ermitteln, der durch Biogasanlagen erzeugt werden soll.

Für jede Gemeinde lässt sich aus dem zusätzlichen Stromertrag, der durch Biogasanlagen erzeugt werden soll, und den durchschnittlichen Volllaststunden bayerischer Biogasanlagen von 7.197 h/a die zusätzliche Nennleistung von neuen Biogasanlagen ermitteln.

Es wird die elektrische Nennleistung von Biomasseanlagen angezeigt, die sich aus dem am Schieberegler Biomasse eingestellten Anteil des Stromverbrauchs ergibt. Sie wird aus den elektrischen Nennleistungen der Bestandsbiomasseanlagen (bestehende Biogasanlagen, Biomasseheizkraftwerke und sonstige Biomasseanlagen) und ggf. der zusätzlichen elektrischen Nennleistung von neuen Biogasanlagen gebildet.

### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde weisen die bestehenden Biomasseanlagen unterschiedliche Nennleistungen auf. (bspw. 1 Biogasanlagen mit 550  $kW_{el}$ , 1 Biogasanlage mit 360  $kW_{el}$ , 1 sonstige Biomasseanlage mit 93  $kW_{el}$  → 3 Anlagen mit 1,003  $MW_{el}$ )
- durchschnittlichen Volllaststunden bayerischer Biogasanlagen: 7.197 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromertrag aus Biomasse in MWh/a			el. Nennleistung der Biomasseanlagen in $MW_{el}$		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15 %	8.706	-	8.706	1	-	1
vollständig	100 %	8.706	51.294	60.000	1	7	8
technisches Potenzial	76 %	8.706	36.894	45.600	1	5	6

## Wie viele Anlagen werden benötigt?

### Ist-Stand:

In die Berechnung gehen alle Biomasseanlagen ein, die nach EEG eine Einspeisevergütung erhalten, beim Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten oder in der Emissionsberichterstattung von 2012 beim Bayerischen Landesamt für Umwelt geführt werden.

### Szenario:

Neue Anlagen fließen als Biogasanlagen mit einem durchschnittlichen Stromertrag von 1.800 MWh/a in die Berechnung ein. Der ermittelte zusätzliche Stromertrag wird durch den durchschnittlichen Stromertrag einer Biogasanlage (1.800 MWh/a) geteilt, um die zusätzliche Biogasanlagenanzahl zu berechnen.

Die Summe der bestehenden Biomasseanlagen und der Anzahl der zusätzlichen neuen Biogasanlagen ergibt die Anlagenanzahl, die benötigt wird, um den am Schieberegler Biomasse eingestellten Deckungsanteil durch den Einsatz von Biomasseanlagen zu erfüllen.

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde haben die Bestandsanlagen unterschiedliche Erträge erzielt (bspw. 1 Biogasanlage mit 4.334 MWh/a, 1 Biogasanlage mit 3.089 MWh/a, 1 sonstige Biomasseanlage mit 1.283 MWh/a → 3 Anlagen mit 8.706 MWh/a).
- durchschnittlicher Stromertrag einer neuen Biogasanlage: 1.800 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromertrag aus Biomasse in MWh/a			Anlagenanzahl		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15 %	8.706	-	8.706	3	-	3
vollständig	100 %	8.706	51.294	60.000	3	28	31
technisches Potenzial	76 %	8.706	36.894	45.600	3	20	23

### Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Die Berechnung der Anlagenzahl erfolgt unter Anwendung folgender Rahmendaten:

- Elektrischer Wirkungsgrad für die Stromerzeugung aus Biomasseheizkraftwerken wird mit 24 %, der für Biogas-Blockheizkraftwerke (z.B. Gas-Otto-Motoren) mit 38 % angenommen.
- Der spezifische Energieertrag für feste Biomasse aus der forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung der Wälder fließt unter Nachhaltigkeitsaspekten mit 15,7 MWh/ha in die Berechnungen des Flächenbedarfs mit ein. Somit ergibt sich bei einer durchschnittlichen Volllaststundenzahl von 4.770 h/a der bayerischen Biomasseanlagen ein Flächenbedarf von gut 1.268 ha pro MW<sub>el</sub> installierte elektrische Leistung.
- Der spezifische Flächenbedarf für Biogasanlagen von 522 ha/MW<sub>el</sub> ergibt sich aus dem Mittelwert von 373 ha/MW<sub>el</sub> beim Anbau von Maissilage und 671 ha/MW<sub>el</sub> beim Anbau von Grassilage für den Betrieb von BHKW, welche mit Biogas gespeist werden.

Ist-Stand:

Als spezifischer Flächenbedarf werden für Biomasseanlagen 1.268 ha/MW<sub>el</sub> und für Biogasanlagen 522 ha/MW<sub>el</sub> angenommen. Der Flächenbedarf ergibt sich durch Multiplikation der installierten elektrischen Leistung mit dem spezifischen Flächenbedarf.

Szenario:

Der o. g. spezifische Flächenbedarf für Biogasanlagen gilt gleichermaßen für die Berechnung des Flächenbedarfs zusätzlicher Neuanlagen. Die Fläche, die benötigt wird, um den am Schieberegler Biomasse eingestellten Deckungsanteil zu realisieren, wird über die Summe des Flächenbedarfs der bestehenden Biomasseanlagen und des Flächenbedarfs zusätzlicher Biogasanlagen ermittelt.

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde weisen die bestehenden Biomasseanlagen unterschiedliche Nennleistungen auf. (bspw. 1 Biogasanlagen mit 550 kW<sub>el</sub>, 1 Biogasanlage mit 360 kW<sub>el</sub>, 1 sonstige Biomasseanlage mit 93 kW<sub>el</sub> → 3 Anlagen mit 1,003 MW<sub>el</sub>)
- Flächenbedarfsfaktor Biomasseanlage: 1.268 ha/MW<sub>el</sub>  
 Flächenbedarfsfaktor Biogasanlage: 522 ha/MW<sub>el</sub> (Zubau)

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		el. Nennleistung der Biomasseanlagen in MW <sub>el</sub>			benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15 %	1	-	1	593	-	593
vollständig	100 %	1	8	9	593	4.176	4.769
technisches Potenzial	76 %	1	6	7	593	3.132	3.725

## Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO<sub>2</sub>-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Megawattstunde Strom liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2016 bei 0,501 t. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien nach Umweltbundesamt (2014: Emissionsbilanz 2013; 2017: Emissionsbilanz 2016) nebst Zerhusen et al. (2015; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 nach der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2017) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017).

Regional bedeutet dies, dass jede Megawattstunde Strom, die in einer Gebietskörperschaft durch erneuerbare Energieträger erzeugt wird, CO<sub>2</sub>-Äq. einspart. Wie viel CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart wird, hängt neben dem derzeitigen CO<sub>2</sub>-Äq.-Ausstoß des deutschen Strommix auch von der Art der erneuerbaren Energie ab. Eine Biomasseanlage emittiert 0,0238 t CO<sub>2</sub>-Äq. je erzeugter Megawattstunde (vgl. Umweltbundesamt 2017: 60f; Emissionsbilanz 2016), eine Biogasanlage 0,339 t/MWh (vgl. Zerhusen et al. 2015; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft).

Die Differenz aus den spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen des Deutschen Strommix und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen von Biomasse- bzw. Biogasanlagen ergeben den Anteil, der für die Produktion einer Megawattstunde Strom durch ein Biomasseheizkraftwerk bzw. eine Biogasanlage eingespart werden kann. Der CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor für Biomasseanlagen beträgt damit 0,4772 t/MWh und für Biogasanlagen 0,162 t/MWh.

### Ist-Stand:

Der Stromertrag der Bestandsanlagen (MWh/a) multipliziert mit dem CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor von Biomasseanlagen (0,4772 t/MWh) bzw. Biogasanlagen (0,162 t/MWh) ergibt die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung (t/a) durch bestehende Biomasseanlagen.

### Szenario:

Der o. g. CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor gilt gleichermaßen für die Berechnung zusätzlich installierter Biogasanlagen. Die CO<sub>2</sub>-Einsparung, die gewonnen wird, wenn der am Schieberegler eingestellte Deckungsanteil realisiert werden würde, wird über die Summe der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung durch Bestandsanlagen und der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung durch zusätzliche Biogasanlagen ermittelt.

### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde haben die Bestandsanlagen unterschiedliche Erträge erzielt (bspw. 1 Biogasanlage mit 4.334 MWh/a, 1 Biogasanlage mit 3.089 MWh/a, 1 sonstige Biomasseanlage mit 1.283 MWh/a → 3 Anlagen mit 8.706 MWh/a).
- In der Mustergemeinde werden nur Biogasanlagen dazugebaut.
- CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor Biomasseanlagen: 0,4772 t/MWh
- CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor Biogasanlagen: 0,162 t/MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Biomasse		Stromertrag aus Biomasse in MWh/a			CO <sub>2</sub> -Äq.-Einsparung durch Biomasse in t/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	15 %	8.706	-	8.706	1.815	-	1.815
vollständig	100 %	8.706	51.294	60.000	1.815	8.310	10.125
technisches Potenzial	76 %	8.706	36.894	45.600	1.815	5.977	7.792

## Technisches Stromerzeugungspotenzial aus Biomasse

Das technische Stromerzeugungspotenzial aus Biomasse (Biomasseheizkraftwerke, sonstige Biomasseanlagen und Biogasanlagen) setzt sich aus dem vor Ort erzeugtem Strom aus bestehenden Biomasseheizkraftwerken und sonstigen Biomasseanlagen einer Gemeinde und dem zu gewinnenden Stromertrag aus dem vorhandenem Biomassepotenzial in einer Gemeinde, welches in Biogasanlagen genutzt werden kann, zusammen.

### Bestehende Bioenergieanlagen

Berücksichtigt werden alle Biomasseheizkraftwerke und sonstige Biomasseanlagen, die nach EEG eine Einspeisevergütung erhalten, beim Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten oder in der Emissionsberichtserstattung von 2008 registriert sind.

Die Berechnung der elektrischen Arbeit der bestehenden Biomasseheizkraftwerke und sonstigen Biomasseanlagen pro Gemeinde erfolgt wie auf Seite 9 unter „Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt? – Ist-Stand“ bereits erläutert.

### Zusätzlich installierbare, neue Bioenergieanlagen

Für den Zubau werden derzeit ausschließlich landwirtschaftliche Biomassepotenziale und deren Einsatz in Biogasanlagen berücksichtigt. Regional noch verfügbare Holzpotenziale aus bayerischen Forsten finden im Wärmesektor Berücksichtigung.

## Potenzialabschätzung landwirtschaftliche Biomasse und deren Einsatz in Biogasanlagen

Die Erzeugung von Bioenergie aus nachwachsenden Rohstoffen steht in Konkurrenz zur klassischen landwirtschaftlichen Flächennutzung (vgl. Bringezu, et al. 2008: 12). 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 Dr. Stefan Rauh ein Landnutzungsmodell (LaNuOpt – LandNutzungsOptimierung) entwickelt, mit dem zukünftige Entwicklungen der bayerischen Landwirtschaft dargestellt werden können (vgl. Rauh 2011: 2).

Das Modell LaNuOpt dient dazu, „Auswirkungen von veränderten energiepolitischen Rahmenbedingungen bzw. Marktentwicklungen auf die Art der Landnutzung in Bayern“ (Rauh 2010: 4) darzustellen. Neben den Auswirkungen politischer Instrumente werden auch die Folgen von Preisschwankungen auf das Angebot unterschiedlicher Agrarprodukte dargestellt und Anhaltspunkte hinsichtlich der Versorgungssicherheit mit Nahrungsmitteln gegeben. Den Landwirten wird dabei gewinnmaximierendes Verhalten unterstellt. Ein Landwirt wird seine Produktion demnach nach den Betriebszweigen auswählen, die ihm das größtmögliche Einkommen versprechen. Hierbei wird jedoch berücksichtigt, dass aufgrund von getätigten Investitionen in einen Betriebszweig eine Weiterproduktion von Seiten des Landwirts auch dann erfolgt, wenn die Produktion nicht mehr wirtschaftlich ist bzw. in anderen Produktionszweigen höhere Einkommen erzielt werden könnten. Dem Modell wurden gemittelte Marktpreise (bspw. für Nahrungs- und Futterweizen, für Brau- und Futtergerste, Raps, Körnermais, Milch, Rind- und Schweinefleisch, etc.) hinterlegt, wobei für die Biogaserzeugung die Rahmenbedingungen des EEG 2009 herangezogen wurden. (vgl. Rauh 2011: 2)

„Das Modell LaNuOpt simuliert nun auf der Basis der vorgegebenen ökonomischen Rahmenbedingungen die Entwicklung der Landwirtschaft in Bayern bis zum Jahr 2015“ (Rauh 2011: 2). Neben den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden Anforderungen hinsichtlich der Fruchtfolge und rechtlicher Vorgaben (bspw. Düngeverordnung) berücksichtigt, deren Restriktionen als Leitplanken gesetzt werden, in deren Rahmen sich die Landwirtschaft entwickeln kann (vgl. Rauh 2011: 2 f).

Basierend auf dem Modell LaNuOpt wurden vier verschiedene Szenarien zur künftigen Entwicklung der Landwirtschaft untersucht, in denen die ökologischen Anforderungen unterschiedlich stark ausgeprägt sind (vgl. Rauh 2011: 3f). Für die Potenzialdarstellung im Mischpult werden die Ergebnisse des Szenario 1 herangezogen, indem entscheidende Restriktionen seitens des Natur- und Umweltschutzes berücksichtigt sind. Bspw. ist im Szenario 1 aufgrund des fehlenden Beitrags zum Klimaschutz kein Grünlandumbruch zugelassen sowie die Einhaltung konservativer Fruchtfolgen vorgeschrieben (vgl. Rauh 2011: 3).

Weiterführende Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsweise des Modells sowie zur verwendeten Datengrundlage sind in der Dissertation von Dr. Stefan Rauh unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/972970/972970.pdf> nachzulesen.

Das Modell LaNuOpt ermittelt unter Berücksichtigung der oben beschriebenen wirtschaftlichen, politischen und ökologischen Rahmenbedingungen Ausbaupotenziale der Biogasproduktion für die bayerischen Landkreise und kreisfreien Städte. Eine Projizierung der Biogaspotenziale von Landkreisebene auf Gemeindeebene erfolgt im Mischpult anhand der landwirtschaftlichen Nutzfläche der einzelnen Gemeinden. Es werden für jede Gemeinde die Anteile der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Landkreises gebildet. Mithilfe dieses Wertes werden die Biogaspotenziale von Landkreisebene auf die Gemeindeebene anteilig berechnet.

#### Literatur

- [1] Bringezu, Stefan; Schütz, Helmut 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
- [2] Rauh 2010: (Diss.) Entwicklung eines Landnutzungsmodells zur Ableitung möglicher zukünftiger Entwicklungen in der Landwirtschaft hinsichtlich der Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Energiebiomasse; Technische Universität München; 2010
- [3] Rauh 2011: „Wie viel Biogas verträgt Bayern?“ – Entwicklung der Biogaserzeugung unter Berücksichtigung ausgewählter ökologischer Faktoren; Hrsg. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.; Freising; 2011



## Schieberegler Photovoltaik

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

In seiner Ausgangsposition zeigen Ihnen die Schieberegler Photovoltaik-Dachfläche und Photovoltaik-Freifläche den aktuellen Deckungsanteil der Photovoltaik am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde an. Sofern Sie den Regler Photovoltaik-Dachfläche bzw. Photovoltaik-Freifläche verschieben, so stellen Sie ein Szenario des Anteils der Stromerzeugung aus Photovoltaik am Stromverbrauch der ausgewählten Gemeinde ein.

Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials Photovoltaik-Dachfläche ab Seite 18 und Photovoltaik-Freifläche ab Seite 23.



## Schieberegler Photovoltaik-Dachfläche

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

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung sowie die elektrische Arbeit bereits installierter PV-Dachflächenanlagen werden jeweils aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der jährlichen EEG-Meldung der jeweiligen Anlage übernommen.

Bei Anlagen, für die keine elektrische Arbeit in ihrer EEG-Meldung aufgeführt ist, wird diese errechnet. Dazu wird die eingetragene elektrische Nennleistung mit der spezifischen Volllaststundenzahl der gebietsbezogenen PV-Dachflächenanlagen multipliziert. Für Gebiete ohne PV-Dachflächenanlagen können keine spezifischen Volllaststundenzahlen ermittelt werden. Daher wird für solche Gebiete die durchschnittliche Volllaststundenzahl der bayerischen Gemeinden angenommen. Für PV-Dachflächenanlagen ergibt sich somit ein Faktor von 967 h/a.

Die so ermittelten Stromerträge der bereits installierten PV-Dachflächenanlagen werden je Gemeinde summiert und ergeben den aktuellen Stromertrag aus PV-Dachflächenanlagen pro Gemeinde.

#### Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler Photovoltaik-Dachfläche eingestellten Deckungsanteil lässt sich ein künftiger Stromertrag aus PV-Dachflächenanlagen für eine Gemeinde ermitteln.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik-Dachfläche		Stromertrag der PV-Dachflächenanlagen in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4 %	2.135	-	2.135
vollständig	100 %	2.135	57.865	60.000
technisches Potenzial	55 %	2.135	30.865	33.000

## Wie viel elektrische Leistung (MW<sub>p</sub>) ist installiert?

### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung der bereits installierten PV-Dachflächenanlagen wird jeweils aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der EEG-Meldung der jeweiligen Anlage übernommen und je Gemeinde summiert.

### Szenario:

Aus der Differenz des neu eingestellten Stromertrags und des Stromertrags der Bestandsanlagen lässt sich ein zusätzlicher Stromertrag ermitteln, der durch neue PV-Dachflächenanlagen erzeugt werden soll.

Für jede Auswahl lässt sich aus dem zusätzlichen Stromertrag und dem spezifischen Ertragsfaktor einer durchschnittlichen PV-Dachflächenanlage des betrachteten Gebietes die zusätzliche elektrische Nennleistung von neuen PV-Dachflächenanlagen ermitteln.

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

### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- Spezifischer Ertragsfaktor einer durchschnittlichen PV-Dachflächenanlage des betrachteten Gebiets: 1.040 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik - Dachfläche		Stromertrag der PV-Dachflächenanlagen in MWh/a			Nennleistung der PV-Dachflächenanlagen in MW <sub>p</sub>		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
<b>Ist-Stand</b>	4 %	2.135	-	2.135	2	-	2
<b>vollständig</b>	100 %	2.135	57.865	60.000	2	56	58
<b>technisches Potenzial</b>	55 %	2.135	30.865	33.000	2	30	32

## Wie viele Anlagen werden benötigt?

### Ist-Stand:

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

### Szenario:

Neue Anlagen fließen mit einer elektrischen Nennleistung von 20 kW<sub>p</sub> in die Berechnung ein. Die ermittelte zusätzliche elektrische Nennleistung wird durch die elektrische Nennleistung einer neuen Anlage (20 kW<sub>p</sub>) 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 am Schieberegler Photovoltaik-Dachfläche eingestellten Deckungsanteil zu erfüllen.



Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde weisen die PV-Dachflächenanlagen unterschiedliche elektrische Nennleistungen auf.
- elektrischen Nennleistung einer neuen PV-Dachflächenanlage: 20 kW<sub>p</sub> = 0,02 MW<sub>p</sub>

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik - Dachflächen		Nennleistung der PV-Dachflächenanlagen in MW <sub>p</sub>			Anlagenanzahl		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4 %	2	-	2	165	-	165
vollständig	100 %	2	56	58	165	2.800	2.965
technisches Potenzial	55 %	2	30	32	165	1.500	1.665

### Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Ist-Stand:

Als spezifischer Flächenbedarf für PV-Dachflächenanlagen werden 7,5 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> angenommen. Der Flächenbedarf ergibt sich durch Multiplikation der installierten Nennleistung der Bestandsanlagen mit dem spezifischen Flächenbedarfsfaktor.

Szenario:

Der o. g. spezifische Flächenbedarfsfaktor gilt gleichermaßen für die Berechnung des Flächenbedarfs zusätzlicher PV-Dachflächenanlagen. Die Fläche, die benötigt wird, um den am Schieberegler eingestellten Deckungsanteil zu realisieren, wird über die Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des Flächenbedarfs zusätzlicher PV-Dachflächenanlagen ermittelt.

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- spezifische Flächenbedarfsfaktor: 7,5 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> = 0,75 ha/MW<sub>p</sub>

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik - Dachfläche		Nennleistung der PV-Dachflächenanlagen in MW <sub>p</sub>			Benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4 %	2	-	2	2	-	2
vollständig	100 %	2	56	58	2	42	44
technisches Potenzial	55 %	2	30	32	2	22,5	24

### Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO<sub>2</sub>-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Megawattstunde Strom in Deutschland liegt unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2016 bei 0,501 t. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien nach Umweltbundesamt (2014: Emissionsbilanz 2013; 2017: Emissionsbilanz 2016) nebst Zerhusen et al. (2015; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 nach der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2017) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017).

Regional bedeutet dies, dass jede Megawattstunde Strom, die in einer Gebietskörperschaft durch erneuerbare Energieträger erzeugt wird, CO<sub>2</sub>-Äq. einspart. Wie viel CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart wird, hängt neben dem derzeitigen CO<sub>2</sub>-Äq.-Ausstoß des deutschen Strommix auch von der Art der erneuerbaren Energie ab. Eine PV-Dachflächenanlage emittiert 0,0678 t CO<sub>2</sub>-Äq. je erzeugter Megawattstunde (vgl. Umweltbundesamt 2017: 45; Emissionsbilanz 2016).

Die Differenz aus den spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen des Deutschen Strommix und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen von PV-Dachflächenanlagen ergibt die Menge an CO<sub>2</sub>-Äq., die durch die Produktion einer Megawattstunde Strom durch eine PV-Dachflächenanlage eingespart werden kann. Der CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor für PV-Dachflächenanlagen beträgt damit 0,4332 t/MWh.

#### Ist-Stand:

Der Stromertrag der bestehenden PV-Dachflächenanlagen (MWh/a) multipliziert mit dem CO<sub>2</sub>-Minderungsfaktor von PV-Dachflächenanlagen (0,4332 t/MWh) ergibt die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung (t/a) durch bestehende PV-Dachflächenanlagen.

#### Szenario:

Der o. g. CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor gilt gleichermaßen für die Berechnung zusätzlich installierter PV-Dachflächenanlagen. Die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung, die gewonnen wird, wenn der am Schieberegler eingestellte Deckungsanteil realisiert werden würde, wird über die Summe der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparungen durch Bestandsanlagen und der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparungen durch zusätzliche PV-Dachflächenanlagen ermittelt.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor PV-Dachflächenanlagen: 0,4332 t/MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik - Dachfläche		Stromertrag der PV-Dachflächenanlagen in MWh/a			CO <sub>2</sub> -Äq.-Einsparung durch PV-Dachfläche in t/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
<b>Ist-Stand</b>	4 %	2.135	-	2.135	925	-	925
<b>vollständig</b>	100 %	2.135	57.865	60.000	925	25.067	25.992
<b>technisches Potenzial</b>	55 %	2.135	30.865	33.000	925	13.371	14.296

## Technisches Stromerzeugungspotenzial aus Solarenergie (PV-Dachfläche)

Das technische Stromerzeugungspotenzial aus Sonnenenergie setzt sich aus dem bereits vor Ort erzeugten Strom aus bestehenden PV-Dachflächenanlagen und dem Stromertrag aus zusätzlich installierbaren neuen PV-Anlagen auf Dachflächen zusammen.

### Bestehende PV-Dachflächenanlagen

Berücksichtigt werden alle Anlagen, die nach EEG eine Einspeisevergütung erhalten. Die Berechnung der elektrischen Arbeit der bestehenden PV-Dachflächenanlagen pro Gemeinde erfolgt wie auf Seite 15 unter „Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt? – Ist-Stand“ bereits erläutert.

### Zusätzlich installierbare, neue PV-Dachflächenanlagen

Neue PV-Dachflächenanlagen fließen über ihre Fläche (nutzbare Dachflächen), den standortspezifischen Sonneneintrag (Globalstrahlung entspr. Solaratlas Bayern) einer damit verbundenen Dachausrichtung und -neigung und zwei Abminderungsfaktoren (durchschnittlicher Wirkungsgrad marktüblicher Solarmodule von 15 % und Performance Ratio<sup>1</sup> von 75 %) ein.

<sup>1</sup> Die Performance Ratio berücksichtigt die in der Praxis auftretenden Effekte für Leistungsverluste, u.a.: Modultemperatur, Sonneneinstrahlung (abhängig von der Tageszeit), eventuelle Verschattungen, Verluste durch Verschmutzungen, Verluste der Leitungen, Verluste im Wechselrichter. (vgl. Quaschnig 2009: 233). Aus der Performance Ratio 75% ergibt sich ein Abschlag von 25 %.

## Potenzialabschätzung nutzbarer PV-Dachflächen

Zur Potenzialabschätzung ist vor allem eine differenzierte Betrachtung der tatsächlich nutzbaren Dachflächen von Bedeutung. Nicht alle Gebäude sind durch ihre Lage auf dem Grundstück, die Neigung und Orientierung der Dachflächen, Aufbauten und gegenseitige Gebäudeverschattungen in idealer Weise für eine Photovoltaik-Nutzung geeignet. Nebengebäude, bauliche Nebenanlagen und Gebäude, die im Rahmen des Denkmalschutzes oder Ensemble-Schutzes gelistet sind, werden von der Berechnung ausgeschlossen.

Die verbleibenden Gebäude einer Gemeinde werden bzgl. ihres Volumens und der umgebenden Siedlungstypologie (z.B. Wohnbebauung) in unterschiedliche Klassen unterteilt. Die Gebäudeklassen differenzieren zwei unterschiedliche Dachtypologien: Gebäude mit eher geneigten oder eher flachen Dächern.

Je nach Dachform wurden unterschiedliche Belegungsdichten für den Anteil der PV-Dachfläche an der Gebäudegrundfläche ermittelt. Die Belegungsdichten wurde jeweils aus der Auswertung der größten in Richtung Süden orientieren Dachfläche einer Vielzahl an Wohngebäuden desselben Dachtyps ermittelt. Für großflächige Gebäude mit flachen Dächern (Hallenbauten, große Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude) ergibt sich im Durchschnitt maximal ein Anteil von 24 % der Gebäudegrundfläche als mögliche PV-Dachfläche. Die Statik der Dächer großer industriell genutzter Gebäude ist nicht immer für zusätzliche Auflast ausgelegt. Daher wurde für solche Gebäude nur ein Drittel des Anteils der PV-Dachfläche an der Gebäudegrundfläche als mögliche PV-Dachfläche angesetzt.

Bei Wohngebäuden mit Satteldächern wurde die Dachfläche um die Hälfte reduziert, um ungünstig ausgerichtete Flächen zu eliminieren. Im Anschluss wurde eine Belegung mit Standortmodulen simuliert, wobei ein Minimalabstand zum Rand des Daches eingehalten wurde. Da eine sehr dichte Bebauung die nutzbaren Dachflächenanteile durch Verschattung u.a. verringert, wird zusätzlich noch ein Abminderungsfaktor bezogen auf die Region und die Siedlungsdichteklasse eingeführt.

Neben der PV-Nutzung der Dachfläche bietet sich für Wohngebäude die Option, einen Teil des Wärmebedarfs über eine solarthermische Anlage abzudecken. Um ein konkurrierendes Nutzungsszenario oder eine Überschätzung des technischen Potenzials zu umgehen, wurde allen Wohngebäuden der notwendige Flächenanteil zur solaren Trinkwarmwasserbereitung von der Potenzialfläche des Dachs abgezogen. Die notwendige Fläche einer solarthermischen Anlage wurde der DIN V4701 – 10 entnommen und ist auf die jeweilige Energiebezugsfläche nach EnEV 2009 bezogen (beheiztes Gebäudevolumen multipliziert mit 0,32 / m).

## Literatur

- [4] Quaschnig, Volker 2009: Regenerative Energiesysteme Technologie – Berechnung – Simulation, 6., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Hanser Verlag München: S. 233

## Schieberegler Photovoltaik-Freifläche

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

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung sowie die elektrische Arbeit bereits installierter PV-Freiflächenanlagen werden jeweils aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der jährlichen EEG-Meldung der jeweiligen Anlage übernommen.

Bei Anlagen, für die keine elektrische Arbeit in ihrer EEG-Meldung aufgeführt ist, wird diese errechnet. Dazu wird die eingetragene elektrische Nennleistung mit der spezifischen Volllaststundenzahl der gebietsbezogenen PV-Freiflächenanlagen multipliziert. Für Gebiete ohne PV-Freiflächenanlagen können keine spezifischen Volllaststundenzahlen ermittelt werden. Daher wird für solche Gebiete die durchschnittliche Volllaststundenzahl der bayerischen Gemeinden angenommen. Für PV-Freiflächenanlagen ergibt sich somit ein Faktor von 1.053 h/a.

Die so ermittelten Stromerträge der bereits installierten PV-Freiflächenanlagen werden je Gemeinde summiert und ergeben den aktuellen Stromertrag aus PV-Freiflächenanlagen pro Gemeinde.

#### Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler Photovoltaik-Freifläche eingestellten Deckungsanteil lässt sich ein künftiger Stromertrag aus PV-Freiflächenanlagen für eine Gemeinde ermitteln.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik-Freifläche		Stromertrag der PV-Freiflächenanlagen in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	13 %	7.875	-	7.875
vollständig	100 %	7.875	52.125	60.000
technisches Potenzial	23 %	7.875	5.925	13.800

### Wie viel Leistung (MW<sub>p</sub>) ist installiert?

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung der bereits installierten PV-Freiflächenanlagen wird jeweils aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der EEG-Meldung der jeweiligen Anlage übernommen und je Gemeinde summiert.

#### Szenario:

Aus der Differenz des neu eingestellten Stromertrags und des Stromertrags der Bestandsanlagen lässt sich ein zusätzlicher Stromertrag ermitteln, der durch neue PV-Freiflächenanlagen erzeugt werden soll.

Für jede Auswahl lässt sich aus dem zusätzlichen Stromertrag und dem spezifischen Ertragsfaktor einer durchschnittlichen PV-Freiflächenanlage des betrachteten Gebietes die zusätzliche elektrische Nennleistung von neuen PV-Freiflächenanlagen ermitteln.

Das im Mischpult angezeigte Ergebnis wird aus der Summe der elektrischen Nennleistung der Bestandsanlagen und der zusätzlichen elektrischen Nennleistung von PV-Freiflächenanlagen gebildet. Es wird die künftige elektrische Nennleistung von Freiflächenanlagen angezeigt, die benötigt wird, um den am Schieberegler eingestellten Anteil des Stromverbrauchs durch PV-Freiflächenanlagen zu decken.

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- spezifischer Ertragsfaktor einer durchschnittlichen PV-Freiflächenanlage des betrachteten Gebiets: 1.154 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik-Freifläche		Stromertrag der PV-Freiflächenanlagen in MWh/a			Leistung der PV-Freiflächenanlagen in MW <sub>p</sub>		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	13 %	7.875	-	7.875	7	-	7
vollständig	100 %	7.875	52.125	60.000	7	45	52
technisches Potenzial	23 %	7.875	5.925	13.800	7	5	12

### Wie viele Anlagen werden benötigt?

Ist-Stand:

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

Szenario:

Neue Anlagen fließen mit einer elektrischen Nennleistung von 500 kW<sub>p</sub> in die Berechnung ein. Die ermittelte zusätzliche elektrische Nennleistung wird durch die elektrische Nennleistung einer neuen Anlage (500 kW<sub>p</sub>) geteilt, um die zusätzliche Anzahl an PV-Freiflächenanlagen zu berechnen.

Die Summe der Bestandsanlagen und der Anzahl der zusätzlichen PV-Freiflächenanlagen ergibt die Anlagenanzahl, die benötigt wird, um den am Schieberegler Photovoltaik-Freifläche eingestellten Deckungsanteil zu erfüllen.

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- In der Mustergemeinde weisen die PV-Freiflächen unterschiedliche el. Nennleistungen auf.
- el. Nennleistung einer neuen PV-Freiflächenanlage: 500 kW<sub>p</sub> = 0,5 MW<sub>p</sub>

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik-Freifläche		Nennleistung der PV-Freiflächenanlagen in MW <sub>p</sub>			Anlagenanzahl		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	13%	7	-	7	10	-	10
vollständig	100 %	7	45	52	10	90	100
technisches Potenzial	23 %	7	5	12	10	10	20

### Wie viel Fläche (ha) wird beansprucht?

Ist-Stand:

Als spezifischer Flächenbedarf für PV-Freiflächenanlagen werden 30 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> angenommen. Der Flächenbedarf ergibt sich durch Multiplikation der installierten elektrischen Leistung mit dem spezifischen Flächenbedarf.

Szenario:

Der o.g. spezifische Flächenbedarfsfaktor gilt gleichermaßen für die Berechnung des Flächenbedarfs zusätzlicher Freiflächenanlagen. Die Fläche, die benötigt wird, um den am Schieberegler eingestellten Deckungsanteil zu realisieren, wird über die Summe des Flächenbedarfs der Bestandsanlagen und des Flächenbedarfs zusätzlicher PV-Freiflächenanlagen ermittelt.

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- spezifischer Flächenbedarfsfaktor:  $30 \text{ m}^2 / \text{kW}_p = 3 \text{ ha} / \text{MW}_p$

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik-Freifläche		Nennleistung der PV-Freiflächenanlagen in MW <sub>p</sub>			Benötigte Fläche in ha		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	13 %	7	-	7	21	-	21
vollständig	100 %	7	45	52	21	135	156
technisches Potenzial	23 %	7	5	12	21	15	36

### Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO<sub>2</sub>-Äq./a) werden eingespart?

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Megawattstunde Strom liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2016 bei 0,501 t. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien nach Umweltbundesamt (2014: Emissionsbilanz 2013; 2017: Emissionsbilanz 2016) nebst Zerhusen et al. (2015; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 nach der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2017) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017).

Regional bedeutet dies, dass jede Megawattstunde Strom, die in einer Gebietskörperschaft durch erneuerbare Energieträger erzeugt wird, CO<sub>2</sub>-Äq. einspart. Wie viel CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart wird, hängt neben dem derzeitigen CO<sub>2</sub>-Äq.-Ausstoß des deutschen Strommix auch von der Art der erneuerbaren Energie ab. Eine PV-Freiflächenanlage emittiert 0,0678 t je erzeugter Megawattstunde (vgl. Umweltbundesamt 2017: 45; Emissionsbilanz 2016).

Die Differenz aus den spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen des deutschen Strommix und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen von PV-Freiflächenanlagen ergibt die Menge an CO<sub>2</sub>-Äq., die durch die Produktion einer Megawattstunde Strom durch eine PV-Freiflächenanlage eingespart werden kann. Der CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor für PV-Freiflächenanlagen beträgt damit 0,4332 t/MWh.

Ist-Stand:

Der Stromertrag in MWh/a multipliziert mit dem CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor für PV-Freiflächenanlagen (0,4332 t/MWh) ergibt die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung (t/a) durch bestehende PV-Freiflächenanlagen.

Szenario:

Der o.g. CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor gilt gleichermaßen für die Berechnung zusätzlich installierter PV-Freiflächenanlagen. Die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung, die gewonnen wird, wenn der am Schieberegler eingestellte Deckungsanteil realisiert werden würde, wird über die Summe der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung durch Bestandsanlagen und der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung durch zusätzliche PV-Freiflächenanlagen ermittelt.

Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor PV-Freiflächenanlage: 0,4332 t/MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Photovoltaik-Freifläche		Stromertrag der PV-Freiflächenanlagen in MWh/a			CO <sub>2</sub> -Äq.-Einsparung durch PV-Freifläche in t/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	13 %	7.875	-	7.875	3.411	-	3.411
vollständig	100 %	7.875	52.125	60.000	3.411	22.581	25.992
technisches Potenzial	23 %	7.875	5.925	13.800	3.411	2.567	5.978

## Technisches Stromerzeugungspotenzial aus Solarenergie (PV-Freifläche)

Das technische Stromerzeugungspotenzial aus Sonnenenergie (PV-Freifläche) setzt sich aus dem bereits vor Ort erzeugtem Strom aus bestehenden PV-Freiflächenanlagen und dem Stromertrag aus zusätzlich installierbaren neuen PV-Anlagen auf Freiflächen zusammen.

### Bestehende PV-Freiflächenanlagen

Berücksichtigt werden alle Anlagen, die nach EEG eine Einspeisevergütung erhalten. Die Berechnung der elektrischen Arbeit der bestehenden PV-Freiflächenanlagen pro Gemeinde erfolgt wie auf Seite 20 unter „Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt? – Ist-Stand“ bereits erläutert.

### Zusätzlich installierbare neue PV-Freiflächenanlagen

Neue PV-Freiflächenanlagen fließen über ihre Fläche (nutzbare Freifläche), mit einem anlagenspezifischen Flächenbedarf ( $30 \text{ m}^2/\text{kW}_p$ ) und einem spezifischen Ertragsfaktor für PV-Freiflächenanlagen in Bayern ( $1.061 \text{ kWh}/\text{kW}_p/\text{a}$ ) ein.

### Potenzialabschätzung nutzbarer PV-Freiflächen

Die in den folgenden Tabellen aufgeführten Flächen wurden zur Ermittlung nutzbarer Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen herangezogen. Zunächst wurde ein Analyseraum festgelegt und darin die ungeeigneten Flächen analysiert und abgezogen. Anschließend wurden Kleinstflächen (Fläche unter 1 ha) eliminiert. Abschließend wurden die gefilterten Potenzialflächen mit den Gemeindeflächen verschnitten, um die nutzbaren Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen je Gemeinde zu zuordnen.

Durch Division des lokalen Flächenpotenzials für PV-Freiflächenanlagen einer Gemeinde durch den spezifischen Flächenbedarf einer PV-Freiflächenanlage ( $30 \text{ m}^2/\text{kW}_p$ ) wird die maximal installierbare Leistung von PV-Freiflächenanlagen einer Gemeinde ermittelt.

Durch Multiplikation der maximal installierbaren Leistung von PV-Freiflächenanlagen mit dem spezifischen Ertragsfaktor für PV-Freiflächenanlagen in Bayern ( $1.053 \text{ kWh}/\text{kW}_p \text{ a}$ ) wird das technische Ausbaupotenzial von PV-Freiflächenanlagen einer Gemeinde festgestellt.

Analyseraum	
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



<b>Ungeeignete Flächen</b>	
Anbauverbotszone	40 m zum Fahrbahnrand von Autobahnen und zweispurige Bundesstraßen mit Mittelstreifen
Verkehrsflächen der Bahn	sog. 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
	Biotope (amtlich kartiert)
	Flächen des Ökoflächenkatasters
	Biosphärenreservate
	RAMSAR-Flächen
	Landschaftsschutzgebiete
	Nationalparke
	Naturschutzgebiete
Überschwemmungsgebiete	
Feuchtfelder	
Wasserflächen	
Wälder und naturnahe Flächen	

<b>Flächen, die bei der Ermittlung der Potenzialflächen bisher nicht berücksichtigt werden konnten</b>	
Bodendenkmäler	Einzelfallenscheidung (Denkmalschutz)
Naturdenkmäler	Flächeninformationen stehen nicht im notwendigen Umfang bayernweit zur Verfügung.
Konversionsflächen (z.B. Depo- nien, Flächen ehem. militäri- scher Nutzung)	gemäß EEG als vergütungswürdige Standorte angesehen; derzeit jedoch keine hinreichend genauen Datensätze bayernweit verfügbar



## Schieberegler Wasserkraft

Die Daten zu Wasserkraftanlagen je Gebietskörperschaft stammen aus den EEG-Meldungen der Netzbetreiber. Es werden ausschließlich Daten der Anlagen verwendet, die bis 31.12. des Jahres in Betrieb gegangen sind, zu dem die EEG-Meldungen in aufbereiteter Form vorliegen.

Weitere Daten zu Wasserkraftanlagen stammen vom Bayerischen Landesamt für Umwelt. Für Kraftwerke größer 10 MW stammen die Daten aus der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur. Sofern bekannt wurden die Werte durch Angaben der jeweiligen Betreiber ergänzt.

Bei Gemeinden mit nur einer einzigen Wasserkraftanlage, zu der keine EEG-Meldung vorliegt, wird diese aus Datenschutzgründen nicht dargestellt.

In seiner Ausgangsposition zeigt Ihnen der Schieberegler Wasserkraft den aktuellen Deckungsanteil der Wasserkraft am Stromverbrauch in der ausgewählten Gemeinde an. Sofern Sie den Regler Wasserkraft verschieben, so stellen Sie ein Szenario des Anteils der Stromerzeugung aus Wasserkraft am Stromverbrauch der ausgewählten Gemeinde ein.

Bitte beachten Sie dazu die Ausführungen zur Berechnung des technischen Potenzials ab Seite 27.

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

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung sowie die elektrische Arbeit der bestehenden Wasserkraftanlagen werden aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der jährlichen EEG-Meldung der jeweiligen Anlage, des Bayerischen Landesamts für Umwelt oder der Bundesnetzagentur übernommen.

Bei Anlagen, für die keine elektrische Arbeit (in ihrer EEG-Meldung) aufgeführt ist, wird diese errechnet. Dazu wird die eingetragene elektrische Nennleistung mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl der bayerischen Wasserkraftanlagen von 5.263 h/a multipliziert.

Die so ermittelten Stromerträge der bestehenden Wasserkraftanlagen werden je Gemeinde summiert und ergeben den aktuellen Stromertrag aus Wasserkraft pro Gemeinde.

#### Szenario:

Aus dem gemeindespezifischen Stromverbrauch und dem gewünschten, am Schieberegler Wasserkraft eingestellten Deckungsanteil lässt sich ein künftiger Stromertrag aus Wasserkraftanlagen für eine Gemeinde ermitteln.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Wasserkraft		Stromertrag der Wasserkraftanlagen in MWh/a		
		Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4 %	2.295	-	-
vollständig	100 %	2.295	57.705	60.000
technisches Potenzial	11 %	2.295	4.800	7.095

### Wie viel Leistung (MW) ist installiert?

#### Ist-Stand:

Die elektrische Nennleistung der bestehenden Wasserkraftanlagen wird aus der Angabe des Übertragungsnetzbetreibers bei der EEG-Meldung der jeweiligen Anlage, des Bayerischen Landesamts für Umwelt oder der Bundesnetzagentur übernommen und je Gemeinde summiert.

**Szenario:**

Aus der Differenz des neu eingestellten Stromertrags und des Stromertrags der Bestandsanlagen lässt sich ein zusätzlicher Stromertrag ermitteln, der bspw. durch die Modernisierung oder Nachrüstung bestehender Anlagen erzeugt werden soll.

Für jede Gemeinde lässt sich aus dem zusätzlichen Stromertrag, der durch Wasserkraftanlagen erzeugt werden soll, und den durchschnittlichen Volllaststunden bayerischer Wasserkraftanlagen von 5.263 h/a die zusätzliche Nennleistung von Wasserkraftanlagen ermitteln.

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

**Beispiel:**

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- durchschnittlichen Volllaststunden bayerischer Wasserkraftanlagen: 5.263 h/a

Deckung des Stromverbrauchs durch Wasserkraft		Stromertrag der Wasserkraftanlagen in MWh/a			Leistung der Wasserkraftanlagen in MW		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
<b>Ist-Stand</b>	4 %	2.295	-	2.295	0,4	-	0,4
<b>vollständig</b>	100 %	2.295	57.705	60.000	0,4	11	11
<b>technisches Potenzial</b>	11 %	2.295	4.800	7.095	0,4	1	1

**Wie viele Anlagen werden benötigt?**

Es konnte kein geeigneter 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.

**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.

**Wie viele Treibhausgas-Emissionen (t CO<sub>2</sub>-Äq./a) werden eingespart?**

Der Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen für eine Megawattstunde Strom liegt in Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2016 bei 0,501 t. Dieser Wert ergibt sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien nach Umweltbundesamt (2014: Emissionsbilanz 2013; 2017: Emissionsbilanz 2016) nebst Zerhusen et al. (2015; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) und den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 nach der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2017) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017).

Regional bedeutet dies, dass jede Megawattstunde Strom, die in einer Gebietskörperschaft durch erneuerbare Energieträger erzeugt wird, CO<sub>2</sub>-Äq. einspart. Wie viel CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart wird, hängt neben dem derzeitigen CO<sub>2</sub>-Äq.-Ausstoß des deutschen Strommix auch von der Art der erneuerbaren Energie ab. Eine Wasserkraftanlage emittiert 0,0027 t CO<sub>2</sub>-Äq. je erzeugter Megawattstunde (vgl. Umweltbundesamt 2014: 48; Emissionsbilanz 2013).

Die Differenz aus den spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen des deutschen Strommix und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen von Wasserkraftanlagen ergibt die Menge an CO<sub>2</sub>-Äq., die durch die Produktion einer Megawattstunde Strom aus einer Wasserkraftanlage eingespart werden kann. Der CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor für Wasserkraftanlagen beträgt damit 0,4983 t/MWh.

#### Ist-Stand:

Der Stromertrag der bestehenden Wasserkraftanlagen (MWh/a) multipliziert mit dem CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor von Wasserkraftanlagen (0,4983 t/MWh) ergibt die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung (t/a) durch bestehende Wasserkraftanlagen.

#### Szenario:

Der o. g. CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor gilt gleichermaßen für die Modernisierung und Nachrüstung bestehender Anlagen. Die CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparung, die gewonnen wird, wenn der am Schieberegler eingestellte Deckungsanteil realisiert werden würde, wird über die Summe der CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparungen durch Bestandsanlagen und den CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparungen durch deren Modernisierung oder Nachrüstung ermittelt.

#### Beispiel:

- „Mustergemeinde“ – Gesamtstromverbrauch: 60.000 MWh/a
- CO<sub>2</sub>-Äq.-Minderungsfaktor Wasserkraftanlage: 0,4983 t/MWh

Deckung des Stromverbrauchs durch Wasserkraft		Stromertrag der Wasserkraftanlagen in MWh/a			CO <sub>2</sub> -Äq.-Einsparung durch Wasserkraft in t/a		
		Bestand	Zubau	gesamt	Bestand	Zubau	gesamt
Ist-Stand	4 %	2.295	-	-	1.144	-	1.144
vollständig	100 %	2.295	57.705	60.000	1.144	28.754	29.898
technisches Potenzial	11 %	2.295	4.800	7.095	1.144	2.392	3.536

## Technisches Stromerzeugungspotenzial der Wasserkraftnutzung

Das technische Stromerzeugungspotenzial der Wasserkraftnutzung setzt sich derzeit aus dem bereits vor Ort erzeugtem Strom aus bestehenden Wasserkraftanlagen und dem zusätzlichen Potenzial an bestehenden Querbauwerken zusammen.

### Bestehende Wasserkraftanlagen

Berücksichtigt werden alle Anlagen, die nach EEG eine Einspeisevergütung erhalten, beim Bayerischen Landesamt für Umwelt registriert oder in der Kraftwerksliste der Bundesnetzbetreiber erfasst sind.

Die Berechnung der elektrischen Arbeit der bestehenden Wasserkraftanlagen pro Gemeinde erfolgt wie auf Seite 25 unter „Wie viel Strom (MWh/a) wird erzeugt? – Ist-Stand“ bereits erläutert.

### Zusätzlich nutzbare Wasserkraft

Die *Bayerische Strategie zur Wasserkraft* des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit aus dem Jahr 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 Nutzung bestehender, bisher nicht energetisch genutzter Querbauwerke, deren Rückbau auch langfristig nicht vorgesehen ist, zu realisieren.

Die Daten zu den Potenzialen an bestehenden Querbauwerken stammen gemäß § 35 (3) WHG aus der Untersuchung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in Zusammenarbeit mit den Wasserwirtschaftsämtern, Regierungen und Kreisverwaltungsbehörden.

Die Daten zu Modernisierungs- und Nachrüstungspotenzialen 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 Flussanierungen ergeben. Diese sind aktuell nicht berücksichtigt.

### **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  $\eta$  ( $g$  = Erdbeschleunigung).

Bei der o. g. Untersuchung wurden die Querbauwerke betrachtet, an denen ein mittlerer Abfluss von mindestens 2 m<sup>3</sup>/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 in Frage 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<sup>2</sup> von in Bezug auf Baugröße und Bauart zur Untersuchung nach § 35 (3) WHG passenden bayerischen Wasserkraftanlagen (8.377 h/a), so erhält man das zusätzliche elektrische Arbeitspotenzial der Wasserkraftnutzung je Gemeinde.

---

<sup>2</sup> 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

**Impressum:**

**Herausgeber:**

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

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

**Postanschrift:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

**Bearbeitung:**

LfU, Ökoenergie-Institut Bayern / Julia Fendrich

**Auftraggeber:**

**Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie**



**Projektpartner, technische Realisierung:**

**BAYERISCHE  
VERMESSUNGS  
VERWALTUNG**

**Projektpartner, fachliche Expertise:**

**bifa**  
Umweltinstitut

**G. A. S.**  
SAHNER ARCHITEKTEN planen bauen forschen

**Bildnachweis:**

Abb. 1: LfU; Abb. 2: G.A.S. Sahner, planen - bauen - forschen, 2013

**Stand:**

Februar 2018