

# Dokumentation

Berechnung Strommix-Prognose

Sascha Greilinger 4/2022



## Inhaltsverzeichnis

Begriffserklärungen	3
Der Anteil Erneuerbarer Energien	3
Datenquellen	4
Prinzip der Berechnung	4
Berechnungen	5

---

## Haftungsausschluss

Die Inhalte dieses Dokuments dienen zur Transparenz der Berechnungsgrundlage der von PeakPick veröffentlichten Strommix-Prognose. Wir geben keine Gewähr auf die Richtigkeit der aufgeführten Methoden oder Daten. Für verlinkte Quellen übernehmen wir ebenfalls keine Haftung.

## Impressum

Sascha Greilinger  
Hindenburgstraße 5  
96450 Coburg

[info@peakpick.de](mailto:info@peakpick.de)

Version 1.0

Stand: 13.04.2022

## Begriffserklärung

### Emissionsfaktor

Menge an CO<sub>2</sub> Emissionen in Gramm, die für die Erzeugung einer Kilowattstunde anfällt. Diese können sich auf ein einzelnes Kraftwerk, auf eine Erzeugungsart oder auf die gesamte Stromerzeugung beziehen. Der Emissionsfaktor der gesamten Erzeugung ist hauptsächlich abhängig vom Anteil Erneuerbarer Energien.

PeakPick berücksichtigt durchgängig nur direkte Emissionen, also die Treibhausgasemissionen, die bei der Stromerzeugung anfallen und durch erzeugungsabhängigen Verbrauch direkt reduziert werden können. Treibhausgas-Emissionen, die bei Förderung, Aufbereitung und Transport von Energieträgern sowie bei der Errichtung und Zurückbau und Recycling der Erzeugungsanlagen freigesetzt werden, sind nicht mit einberechnet. Wir thematisieren Vorketten- und indirekte Emissionen bei der Stromerzeugung aber sehr wohl bei unserer Öffentlichkeitsarbeit.

### Day-Ahead Forecast

Prognosen für den Stromhandel am Tag davor

### Intra-Day Forecast

Prognosen für den Stromhandel am selben Tag

### Merit-Order

Einsatzreihenfolge von Kraftwerksarten zur Deckung des Strombedarfes. Stromerzeuger beginnend mit den niedrigsten Erzeugungskosten und Umweltbelastungen werden um so viele weitere Kraftwerke erweitert, bis der Bedarf gedeckt werden kann. Wind- und Solaranlagen haben deshalb per Gesetz Einspeisevorrang, sie liefern theoretisch immer so viel Strom, wie sie gerade erzeugen können. Fossile Kraftwerke hingegen übernehmen die restliche Stromerzeugung und reduzieren ihre Leistung entsprechend. Durch Netzengpässe kann es aber zur Abregelung von Wind- und Solaranlagen kommen.

## Der Anteil Erneuerbarer Energien

Wir verwenden zur Orientierung beim erzeugungsabhängigen Stromverbrauch den stündlichen Anteil Erneuerbarer Energien bezogen auf die Brutto-Stromerzeugung ohne Berücksichtigung von Speichern oder internationalen Stromhandel. Dieser Wert hat viele Vorteile:

- Prozentwerte sind leicht verständlich, auch wenn man sich die absoluten Größen dahinter nicht vorstellen kann.
- Der Anteil Erneuerbarer ist weitgehend proportional zu den Emissionen der Stromerzeugung
- Der internationale Stromhandel wird mitberücksichtigt, ohne diesen extra mit einzuberechnen. Exportiert ein Land viel Strom, bezieht sich die Prozentangabe auch auf diese zusätzliche Erzeugungsleistung. Bei hoher Nachfrage aus dem Ausland sinkt der Anteil Erneuerbarer im Inland, besteht im Ausland kein Bedarf an Strom, fahren konventionelle Kraftwerke entsprechend der Merit-Order ihre Leistung zurück und der Anteil der regenerativen Erzeugung steigt. Grenzüberschreitende Stromflüsse werden in ihrer Bedeutung für die Lastverschiebung durch diesen Wert dadurch mit abgebildet.
- Indem (Pump-)speicher nicht als Erneuerbare Energien miteinberechnet werden (auch wenn der gespeicherte Strom aus Zeiten mit hohem EE-Anteil stammt), wird der Stromverbrauch nicht gefördert, wenn auf Speicher zugegriffen werden muss. Ebenso reduziert der Strombezug für das Speichern nicht den prozentualen Anteil Erneuerbarer. Strombezug wird dann nicht reduziert, da der überschüssige Strom aus Wind- und Solaranlagen im Sinne des erzeugungsabhängigen Verbrauchs direkt genutzt werden soll.
- Der Anteil Erneuerbarer spiegelt ebenfalls gut den Fortschritt der Energiewende wider und ermöglicht Vergleiche zwischen Ländern.
- Auch Menschen können sich unabhängig von persönlichem Stromverbrauch mit einem persönlichen Strommix in ihrem Engagement zur Lastverschiebung vergleichen.

Im letzten Punkt liegt dabei auch der Nachteil von Prozentangaben: Sie motivieren nicht zum Energiesparen, wie es absolute Werte können. Darum sollte noch mindestens eine absolute Größe (CO<sub>2</sub>-Emissionen, Stromverbrauch) in der Anwendung mitkommuniziert werden, um erzeugungsabhängigen Verbrauch mit notwendigen Gerätenutzungen nicht zu einer „Stromrauschorgie“ ausarten zu lassen, welche negative Gewohnheiten fördert.

## Angebundene Datenquellen

Zur Berechnung des aktuellen, nationalen Strommixes und eine Prognose für den nächsten Tag bietet die **Transparenzplattform der europäischen Übertragungsnetzbetreiber „ENTSO-E“** [[transparency.entsoe.eu](https://transparency.entsoe.eu)] ausreichend frei zugängliche Daten an. Viele andere Anbieter von Stromnetzdaten wie electricityMap, die energy-charts des Fraunhofer ISE oder das Agorameter nutzen diese umfassende, offizielle Datenquelle. Sowohl viertelstündlich dokumentierte Werte der aktuellen und vergangenen Erzeugung als auch stundenscharfe Prognosen für den nächsten Tag stehen zur Verfügung. Auch aktuelle und prognostizierte Börsen-Strompreise sind vorhanden. Einzelne Datasheets können im Browser betrachtet, nach einer Registrierung als Excel-, XML- oder CSV-Datei heruntergeladen oder über eine API abgerufen werden.

## Nicht angebundene Datenquellen

Das **Umweltbundesamt** [[umweltbundesamt.de](https://umweltbundesamt.de)] veröffentlicht jährlich Berichte über die spezifischen Emissionsfaktoren von fossilen Kraftwerken, die zur Näherung der Emissionen pro Kilowattstunde in Abhängigkeit vom Anteil Erneuerbarer Energien als Berechnungsgrundlage dienen.

Die **Energy-Charts** [[energy-charts.info](https://energy-charts.info)] des Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (ISE) bietet internationale, tagesscharfe Energiedaten in konfigurierbaren Diagrammen an. Erzeugungsdaten des Vormonats werden zur Bestimmung eines durchschnittlichen Emissionsfaktors aller konventionellen Kraftwerke (inklusive Kernkraft) verwendet.

## Vergleich mit anderen Daten

Zur Überprüfung vergleichen wir unsere Prognosedaten mit historischen, tatsächlichen Werten bekannter Plattformen:

Mit den Werten aus dem **Agorameter** von Agora Energiewende [[agora-energiewende.de](https://agora-energiewende.de)] kann ebenfalls der stündliche Anteil Erneuerbarer Energien berechnet werden. Der Emissionsfaktor ist hierbei immer direkt im Agorameter angegeben.

**ElectricityMap** [[electricitymap.org](https://electricitymap.org)] ist ein bekannter Anbieter von internationalen Live-Stromdaten und stellt diese für die letzten 24 Stunden in einer interaktiven Karte für viele Länder dar. Sowohl der stündliche Anteil Erneuerbarer Energien als auch der Emissionsfaktor sind angegeben.

## Prinzip der Berechnung

Für die Strommix-Prognose werden die Datensätze „Generation Forecast Wind and Solar“ und „Generation Forecast – Day ahead“ (Prognose Gesamterzeugung) herangezogen. Für Biogas, Laufwasser und sonstige Erneuerbare existieren keine Prognosen auf ENTSO-E. Diese haben aber eine relativ gleichbleibende Einspeiseleistung oder nur einen marginalen Anteil in Deutschland, daher wird für ihre Erzeugungswerte auf den jeweiligen Vortageswert zurückgegriffen. Aus der Summe der Erzeugungsleistung von Wind offshore und onshore, Photovoltaik sowie den Vortageswerten der anderen Erneuerbaren Energien lässt sich der relative Anteil an der Gesamterzeugung berechnen. Für jede Stunde wird dabei ein Prozentwert gebildet.

Da auf ENTSO-E keine Prognosen für einzelne konventionelle Kraftwerkstypen bereitgestellt werden, erfolgt die Vorhersage des stündlichen Emissionsfaktors durch eine Näherung. Dabei wird ein durchschnittlicher Emissionsfaktor aller konventionellen Kraftwerke (inklusive Kernenergie) aus der Erzeugung des Vormonats und kraftwerkstypischen Emissionsfaktoren berechnet. Dieser wird auf den Anteil Erneuerbarer Energien abgebildet:

100% regenerativ = 0% konventionell = keine Emissionen

.

.

.

0% regenerativ = 100% konventionell = durchschnittlicher Emissionsfaktor aller konventionellen Kraftwerke

Diese Methode funktioniert sehr gut und liefert für eine Prognose ausreichend genaue Werte ( $\pm 50\text{g/kWh}^*$ ).

\*Verglichen mit Emissionsfaktoren des Agorameters von Agora Energiewende

## Berechnungen

### Prognose Anteil Erneuerbarer Energien (day-ahead)

Aus den Einspeise-Werten von Wind- und Solaranlagen und der Vorhersage der gesamten Stromerzeugung von ENTSO-E wird der stündliche Anteil Erneuerbarer Energien berechnet.

ENTSO-E stellt die Daten für den nächsten Tag ab spätestens 18 Uhr zur Verfügung. PeakPick ruft zu diesem Zeitpunkt die neuen Daten ab und aktualisiert die Prognose.

Da es für Biomasse, Laufwasser und andere Erneuerbare keine Vorhersage gibt und deren Einspeisung relativ konstant bleibt, wird der Durchschnitt aus den Vortageswerten berechnet und für den aktuellen Tag angenommen. Die Daten stehen für jede Viertelstunde bereit, weshalb die Tagessummen durch  $4 \times 24 = 96$  geteilt werden, um Tagesmittelwerte zu erhalten:

$$\text{Prognose Biomasse} = \text{Summe ( Vortageserzeugung Biomasse )} / 96$$

$$\text{Prognose Geothermie} = \text{Summe ( Vortageserzeugung Geothermie )} / 96$$

$$\text{Prognose Laufwasser} = \text{Summe ( Vortageserzeugung Laufwasser )} / 96$$

$$\text{Prognose Wasserreservoir} = \text{Summe ( Vortageserzeugung Wasserreservoir )} / 96$$

$$\text{Prognose Marine} = \text{Summe ( Vortageserzeugung Marine )} / 96$$

$$\text{Prognose Sonstige Erneuerbare} = \text{Summe ( Vortageserzeugung Sonstige Erneuerbare )} / 96$$

$$\text{Anteil Erneuerbarer} = ( \text{Prognose Wind offshore} + \text{Prognose Wind onshore} + \text{Prognose Solar} + \text{Prognose Biomasse} + \text{Prognose Geothermie}$$

$$+ \text{Prognose Laufwasser} + \text{Prognose Wasserreservoir} + \text{Prognose Marine} + \text{Prognose Sonstige Erneuerbare} ) / \text{Prognose Gesamterzeugung} * 100$$

## Emissionsfaktor (forecast)

Für die Vorhersage stehen keine detaillierten Werte für einzelne Kraftwerkstypen zur Verfügung. Darum muss der Emissionsfaktor der Stromerzeugung anders bestimmt werden. ENTSO-E liefert nur eine prognostizierte Gesamterzeugung (Generation Forecast Day-Ahead) sowie die Erzeugungsprognose von Wind- und Solaranlagen, woraus sich zusammen mit den Vortageswerten der regenerativen Quellen der Anteil Erneuerbarer Energien ergibt.

Wir nehmen als Näherung zur Veranschaulichung der Zusammenhänge im Stromnetz an, dass sich der Emissionsfaktor umgekehrt

proportional zum Anteil Erneuerbarer Energien verhält. Dazu wird ein maximaler Emissionsfaktor aller konventionellen Kraftwerke (inklusive Kernkraft) vom Vortag angenommen und mit einem Dreisatz auf den Anteil Erneuerbarer abgebildet.

Der rein konventionelle Emissionsfaktor bildet sich aus der stündlichen Erzeugungsleistung einzelner konventionellen Kraftwerke, verrechnet mit den jeweiligen Emissionsfaktoren und der Gesamterzeugung aus konventionellen Quellen:

$$\text{Emissionsfaktor}_{\text{konventionell}} = \left( \text{Erzeugung}_{\text{konv. Kraftwerktyp 1}} \times \text{Emissionsfaktor}_{\text{konv. Kraftwerktyp 1}} + \dots \right) / \sum \text{Erzeugung}_{\text{konv. Kraftwerktyp 1, 2, ...}}$$

Bei Atomkraftwerken wird ein direkter Emissionsfaktor von 0g/kWh gesetzt und deren konventionelle Erzeugung einberechnet.

Es wird angenommen, dass sich der Gesamtemissionsfaktor umgekehrt proportional zum Anteil Erneuerbarer Energien verhält: Bei 100% regenerativ erzeugtem Strom fallen keine direkten

Emissionen an. Bei einem Anteil von 0% würde der Strom vollständig aus konventionellen Quellen stammen und der oben berechnete Emissionsfaktor aller konventionellen Kraftwerke ist auch der Gesamtemissionsfaktor. Mit folgender Formel lässt sich näherungsweise der Emissionsfaktor auf den Anteil Erneuerbarer Energien aus der Vorhersage abbilden:

$$\text{Emissionsfaktor}_{\text{Gesamt}} = \text{Emissionsfaktor}_{\text{konventionell}} - \text{Emissionsfaktor}_{\text{konventionell}} / 100 \times \text{Anteil Erneuerbarer Energien}$$

Vergleiche mit dem im Agorameter dokumentierten, stündlichen Emissionsfaktoren zeigen, dass diese Methode sehr gut die Emissionen aus dem Anteil Erneuerbarer ableitet. Der mit dieser

Methode bestimmte Emissionsfaktor wird auf 10g/kWh gerundet, um keine falsche Genauigkeit vorzutäuschen und den Vergleich von Werten zu vereinfachen.

## Genauigkeit der Näherung

Das folgende Diagramm zeigt die Abweichung dieser Berechnungsmethode von den durch das Agorameter von Agora Energiewende ermittelten Gesamt-Emissionsfaktors im Dezember 2021. Dabei wurden jeden Tag vier Datenpunkte (0:00, 6:00, 12:00,

18:00) ausgewertet. Zur Bestimmung des Anteils Erneuerbarer Energien wurden die Erzeugungswerte des Agorameters selbst genutzt und mit einem durchschnittlichen Emissionsfaktor aller konventionellen Kraftwerke (797 g/kWh) verrechnet.

