

Morgan Charlet, R+V Lebensversicherung AG

10 Jahre seit der Pariser Klimakonferenz

Mit Vollgas in die Katastrophe oder alles
eitel Sonnenschein?

DAV/DGVFM Jahrestagung 30.04.2025

Agenda

Motivation	3
Entwicklung von 2015 bis 2024	7
Szenarien für die nächsten Jahre	21

Agenda

Motivation

Entwicklung von 2015 bis 2024

Szenarien für die nächsten Jahre

3

7

21

Motivation

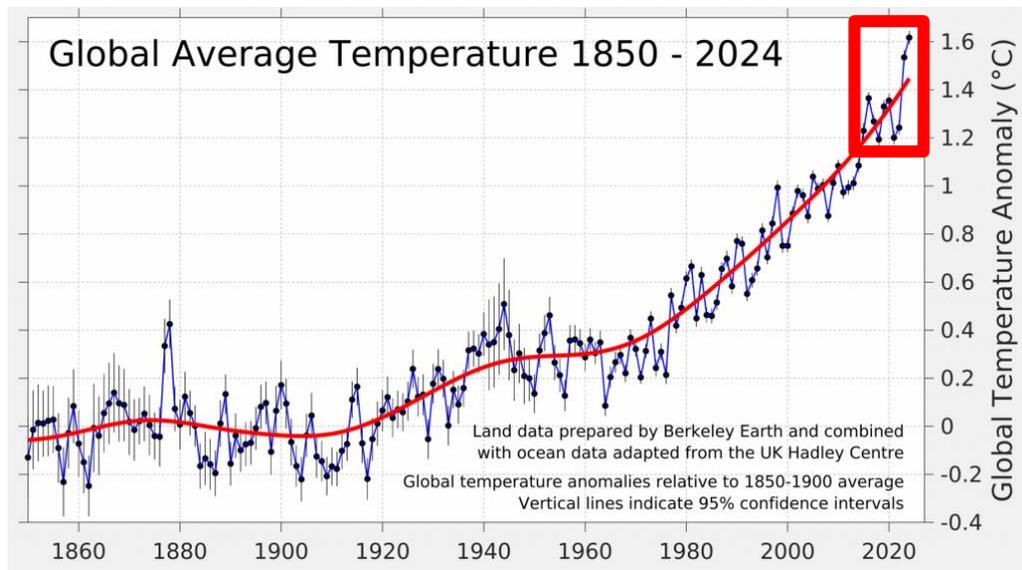
Das Übereinkommen von Paris wurde auf der 21. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (COP21) 2015 in Paris verabschiedet und trat im November 2016 in Kraft.

Die beigetretenen Staaten **verpflichten sich**, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C, möglichst jedoch auf 1,5 °C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.



Wo stehen wir aktuell?

Historische Entwicklung der Durchschnittstemperatur

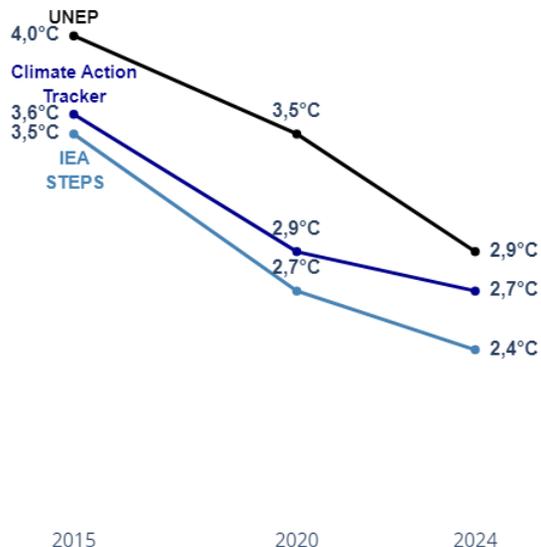


Es geht aufwärts

Prognostizierter Temperaturanstieg bis 2100

2015 bis 2024 Prognosen von **IEA**, **Climate Action Tracker** & **UN Environment Programme**

Prognostizierter Temperaturanstieg bis 2100



Verschiedene, voneinander unabhängige Institutionen sehen in ihrem Best Estimate Szenario 2024 eine um Rund 1 Grad Celsius niedrigere Erderwärmung als in der vergleichbaren Prognose aus 2015.

Der erwartete Temperaturanstieg liegt weiter deutlich über 2 Grad.

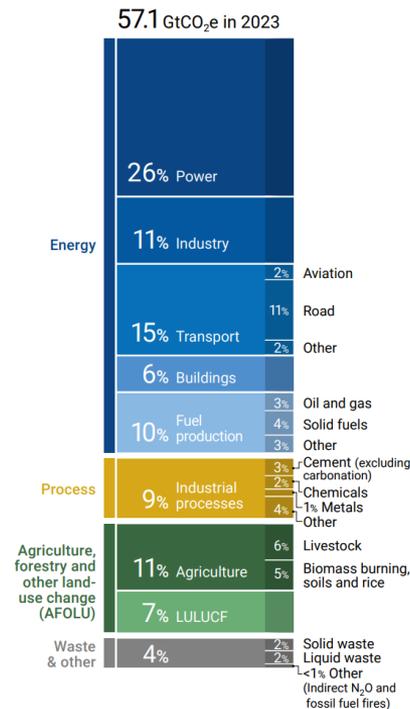
Weshalb kam es zu dem deutlichen Rückgang des erwarteten Temperaturanstiegs?

Agenda

Motivation	3
Entwicklung von 2015 bis 2024	7
Szenarien für die nächsten Jahre	21

Die größten Emissionsquellen von Treibhausgasen

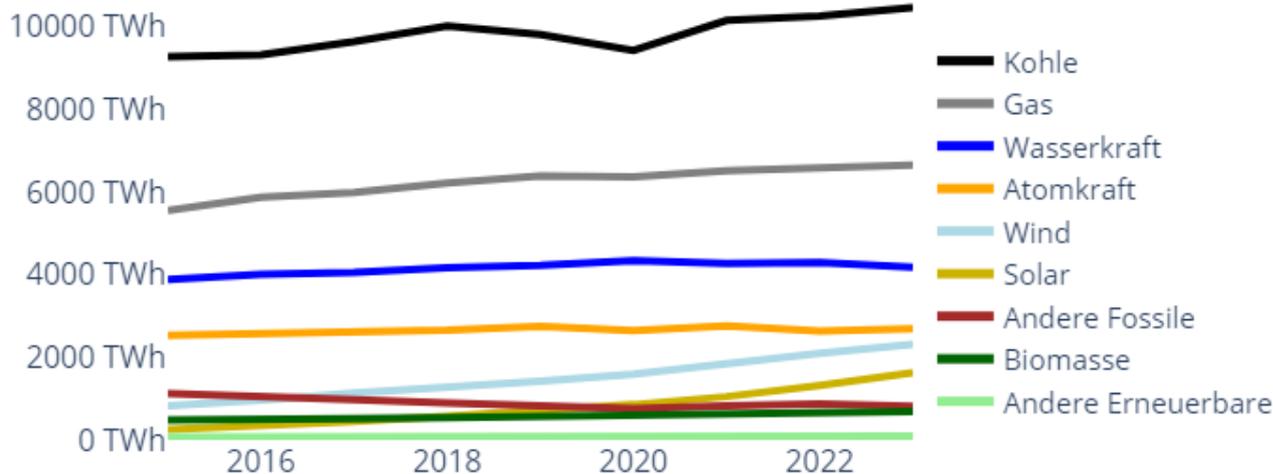
- Die Erzeugung und Nutzung von Energie ist für mehr als zwei Drittel des Treibhausgasausstoßes ursächlich
- Stromerzeugung ist die größte Quelle von Treibhausgasen
- Mittels Elektrifizierung lassen sich in der Industrie, im Verkehrs- und Gebäudesektor Einsparpotentiale realisieren
- Im Folgenden: Fokus auf Energie und Stromerzeugung



Quelle: [UN environment programme - Emissions Gap Report 2024](#)

Historische Entwicklung der Stromproduktion

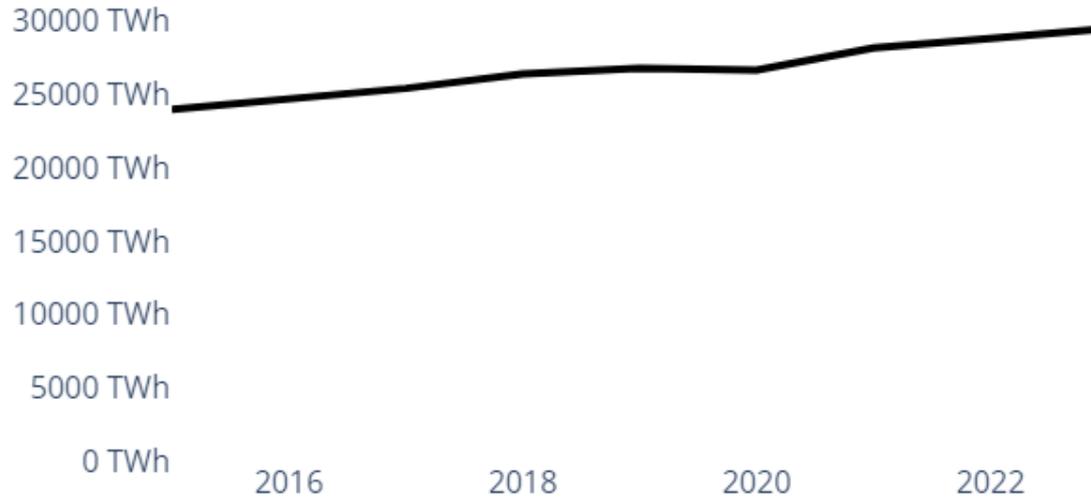
Weltweite Stromerzeugung seit 2015



Quelle: Daten von [Ember](#) und eigene Berechnungen

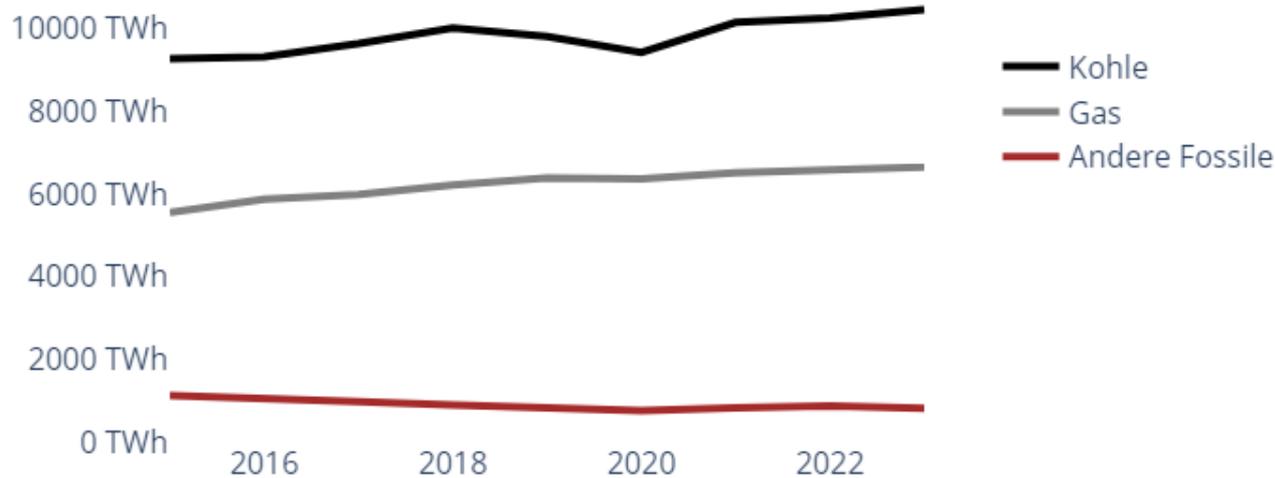
Entwicklung der gesamten Stromerzeugung

Weltweite Gesamte Stromerzeugung seit 2015



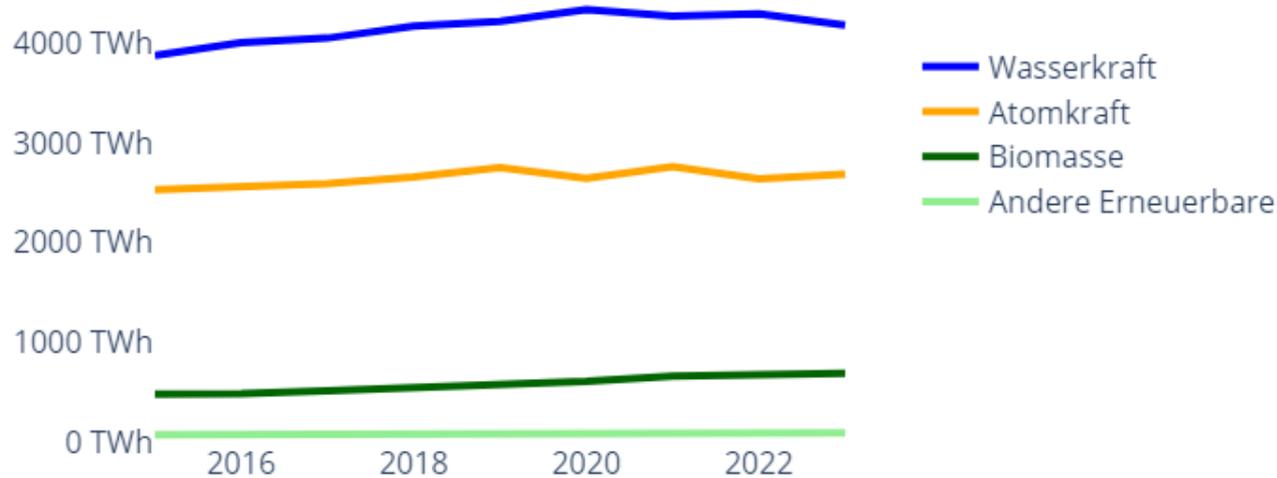
Ging die Erzeugung aus fossilen Quellen zurück?

Weltweite Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen seit 2015



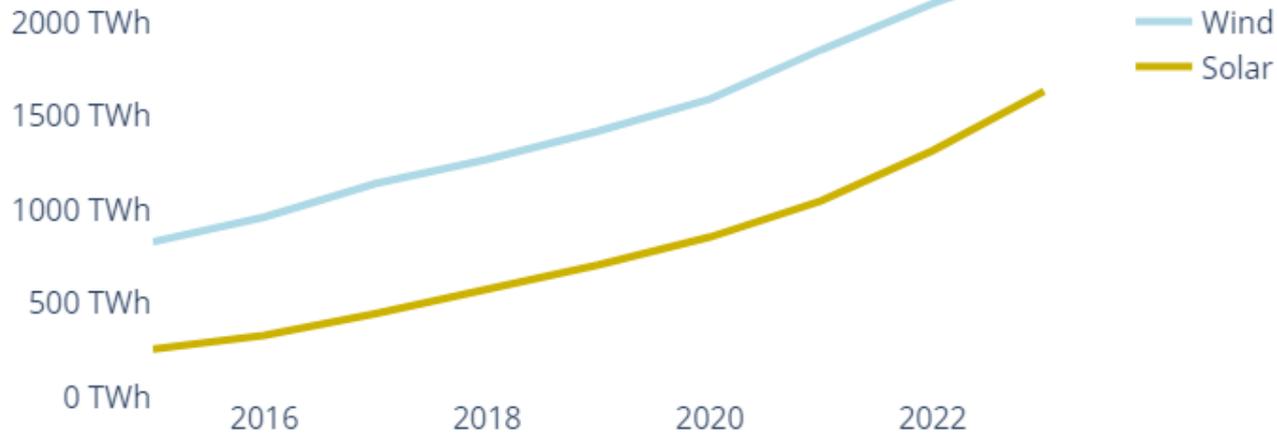
Stieg die Erzeugung aus CO₂-armen Quellen an?

Weltweite Stromerzeugung aus CO₂-armen Quellen seit 2015



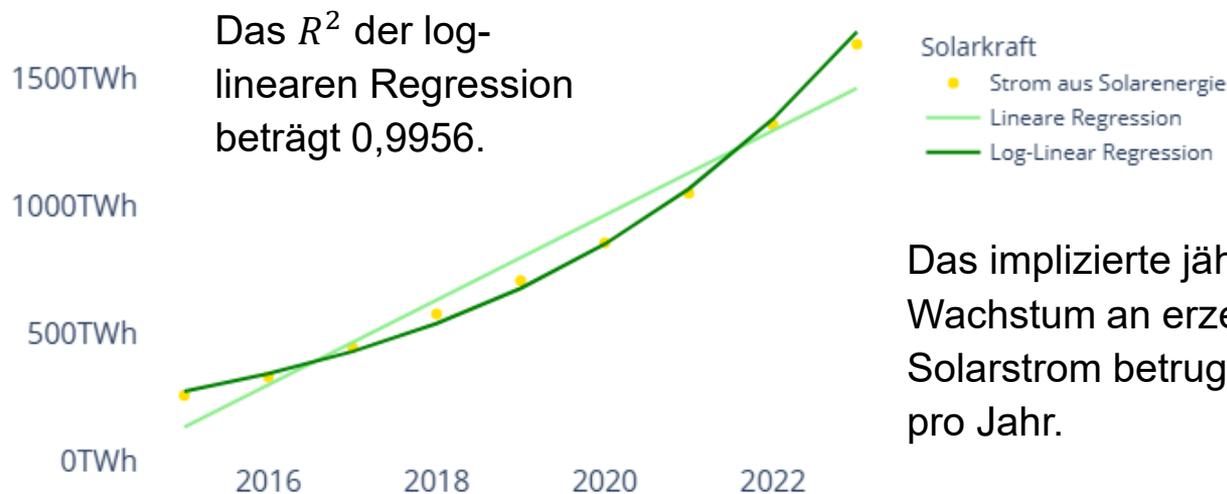
Was änderte sich bei variablen erneuerbaren Energien?

Weltweite Stromerzeugung aus variablen erneuerbaren Energien seit 2015



Simplex Modell für die Menge an erzeugtem Solarstrom

Weltweite Stromerzeugung aus Solarkraft seit 2015



Das implizierte jährliche Wachstum an erzeugtem Solarstrom betrug 25,6% pro Jahr.

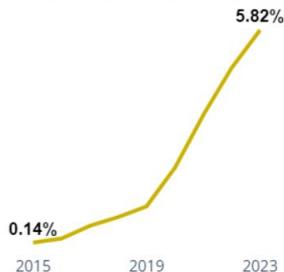
Wird Solarenergie nur von Regierungen forciert, die eine klimapolitische Agenda haben?

- Viele Staaten haben die Erzeugung von Solar- und auch von Windenergie seit 2015 stark ausgebaut, ohne eine klimapolitische Agenda zu verfolgen
- Vor allem in Staaten, deren Wirtschaft auf dem Verkauf fossiler Brennstoffe basiert, ist noch nichts von der Energiewende auf dem Strommarkt zu spüren
- Wir betrachten beispielhaft den Anteil der Solarenergie an der gesamten Stromerzeugung in einigen Regionen und Staaten genauer

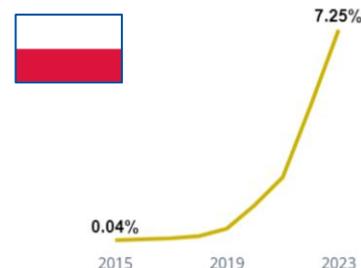
Entwicklung des Anteils von Solarstrom an der gesamten Stromerzeugung in ausgewählten Regionen



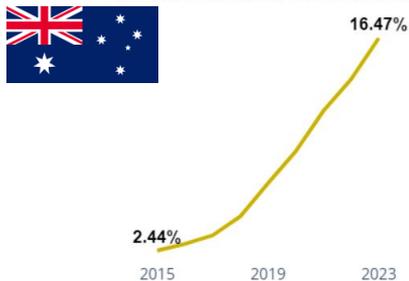
Anteil von Solar in Texas



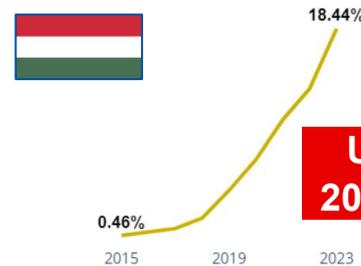
Anteil von Solar in Polen



Anteil von Solar in Australien



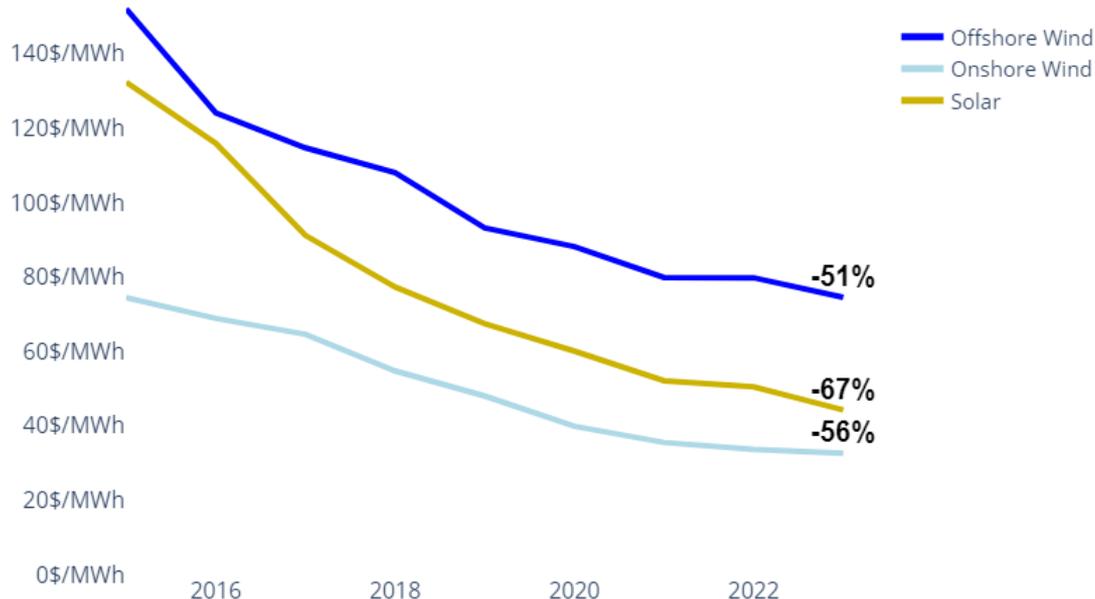
Anteil von Solar in



Update
2024: 24%

Kontinuierlich günstigere Kosten bei Wind und Solar

Energiekosten nach Technologie (weltweite Durchschnitte)



Dargestellt sind die Gesamtkosten in US-Dollar für die Erzeugung einer Megawattstunde Strom im weltweiten Durchschnitt nach Jahr.

Seit 2010 sind die Kosten von Solarstrom sogar um über 90% von 460 \$/MWh auf 44 \$/MWh gefallen.

Kapazitätszubau wurde in Modellen unterschätzt

In den Modellen folgt die Strommenge aus Solarstrom dem Kapazitätszubau.

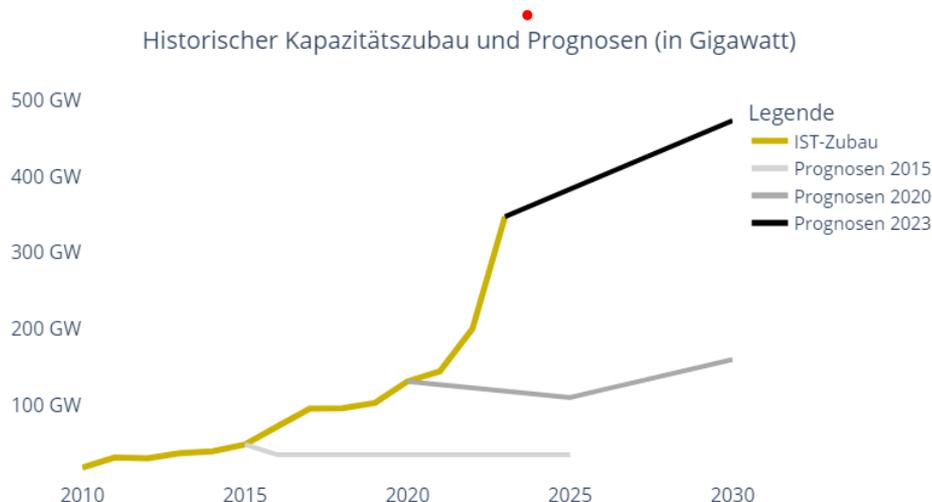
Vereinfacht gilt, dass das Wachstum der erzeugten Solarstrommenge gleich dem Kapazitätszubau (also der Anzahl neu installierter Solarpaneele) multipliziert mit einem Kapazitätsfaktor sowie der Dauer ist.

Die Frage, wie sich die aus Solarenergie erzeugte Strommenge verändert, wird so zurückgeführt auf die Frage, wie sich die zugebaute Kapazität verändert.

In den **Modellen** der IEA wurde (und wird) stets von einem im wesentlichen **gleichbleibenden Kapazitätszubau** ausgegangen.

Das exponentielle Wachstum der Solarstrommenge lässt sich mit einem nicht vorhergesehenen **exponentiellen Anstieg der zugebauten Kapazität in der Realität** erklären.

Alte Prognosen zum Zubau an Solarkapazität



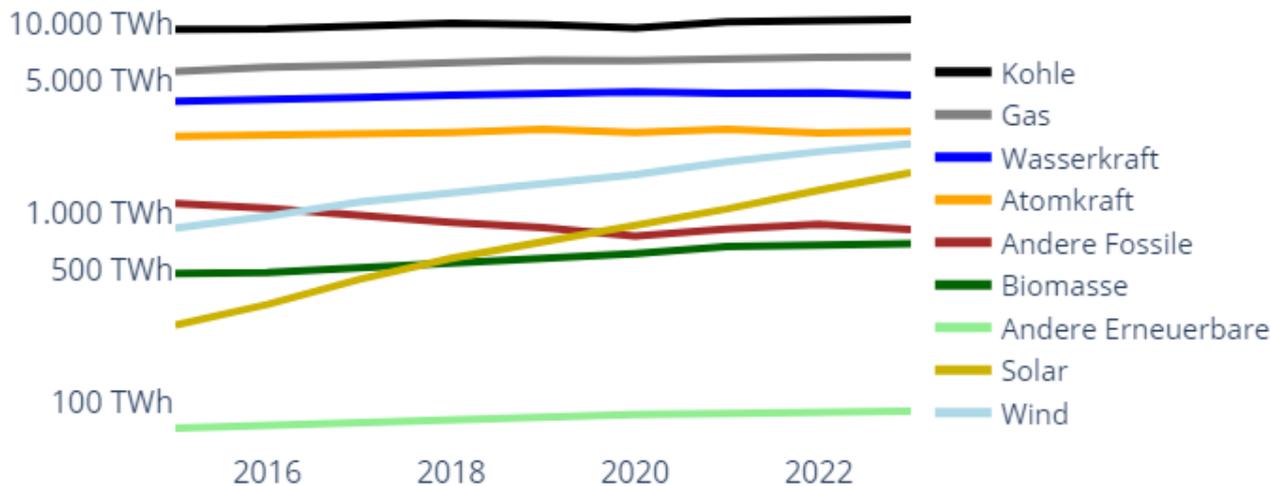
Update Februar 2025 (BNEF)

Zubau Solar in 2024: **599 GW**

- Die Schätzungen gehen stets von mehr oder weniger konstantem Zubau in der Zukunft aus
- Der tatsächliche Zubau folgt einem exponentiellen Trend

Historische Entwicklung der Stromproduktion

Weltweite Stromerzeugung (log-Skala) seit 2015



Agenda

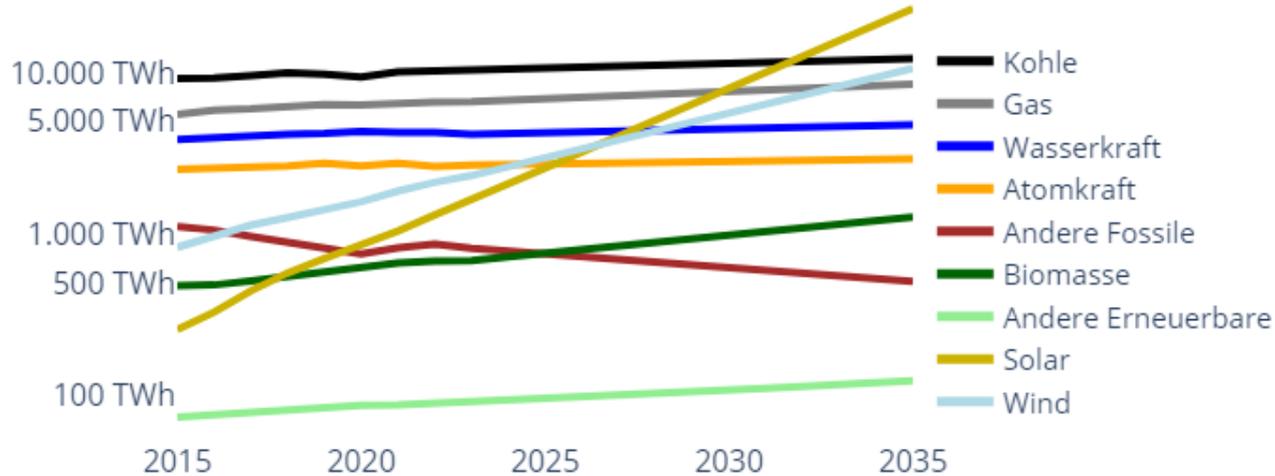
Motivation	3
Entwicklung von 2015 bis 2024	7
Szenarien für die nächsten Jahre	21

Kann Solarenergie weltweit in den nächsten Jahren weiter exponentiell wachsen?

- In Kalifornien betrug der Anteil der Solarenergie an der gesamten Stromerzeugung 2024 bereits **32%**.
- In den Niederlanden lag der Anteil trotz ungünstiger klimatischer Rahmenbedingungen bei über 17%.
- Global lag der Anteil noch unter **7%**.
- Das Potential für weiteres exponentielles Wachstum in den nächsten Jahren besteht somit grundsätzlich.

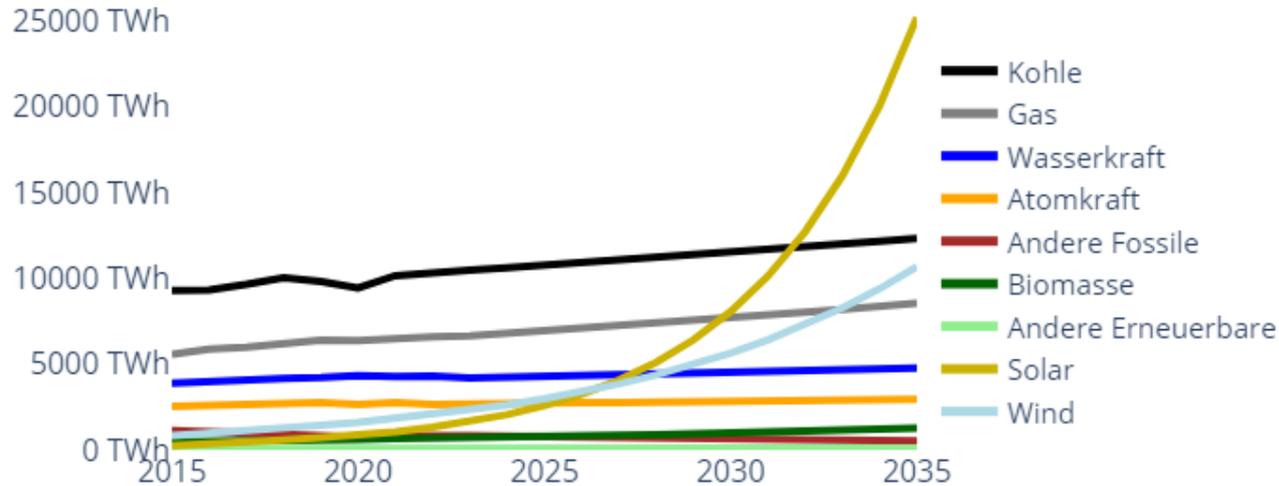
Naive Fortschreibung des Trends (log-Skala)

Weltweite Stromerzeugung (naive Simulation, log-Skala) seit 2015



Naive Fortschreibung des Trends

Weltweite Stromerzeugung (naive Simulation) seit 2015

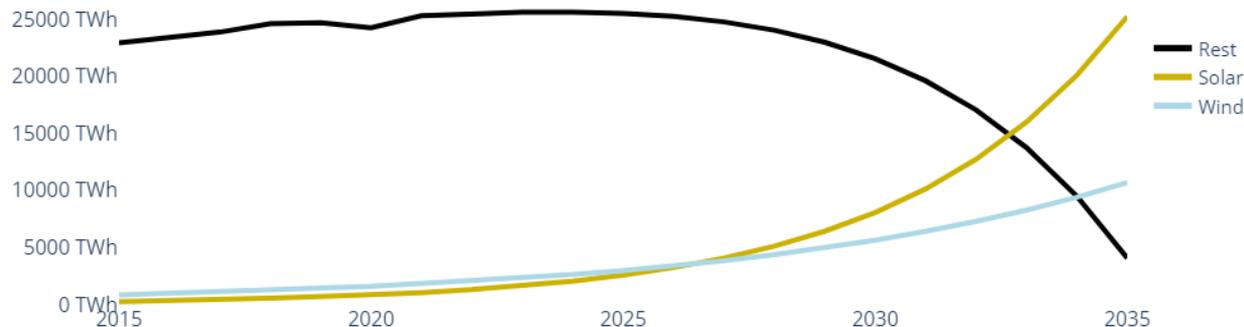


Exponentielles Modell

Wir unterstellen ein Wachstum der global erzeugten Menge Gesamtstrommenge um 2,6%, der Solarstrommenge um 25,6% und der Windstrommenge um 13,6% pro Jahr.

Die Zusammenfassung der übrigen Stromerzeuger zu einer Residualgröße liefert folgendes Bild:

Weltweite Stromerzeugung (naive Simulation) seit 2015



Ist dies realistisch?

S-Kurven: Mathematische Grundlagen

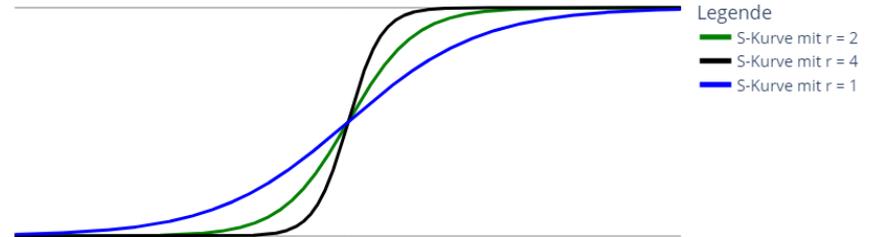
Mittels einer logistischen Funktion wird der Verlauf einer S-förmigen Kurve modelliert.

Zunächst findet ein quasi exponentielles Wachstum statt, welches sich nach einem Inflektionspunkt verlangsamt bis die Kurve schließlich gegen eine obere Grenze konvergiert.

$$f(t) = \frac{K}{1 + e^{-r(t-t_0)}}$$

- K ist die obere Sättigungsgrenze
- r ist die Wachstumsrate
- t_0 ist der Zeitpunkt des stärksten Wachstums (Inflektionspunkt)

Beispiele für S-Kurven



Beispiel: Anzahl Handyverträge pro 100 Menschen



Quelle: [OurWorldInData](https://ourworldindata.org/)

S-Kurve zur Modellierung des Solarstromanteils

Modellierung des Anteils des Solarstroms an der gesamten weltweiten Stromerzeugung als S-Kurve mit plausibler Obergrenze K

- $K < 50\%$, weil nachts kein Solarstrom erzeugt wird und Bewölkung, Verschattung oder niedrige Sonneneinstrahlung die Erzeugung begrenzen
- $K > 30\%$, da diese Grenze 2024 bereits von Kalifornien überschritten wurde.

Mit einem Wert von $K = 40\%$ ergibt sich

$$f(t) = \frac{0,4}{1 + e^{-r(t-t_0)}}$$

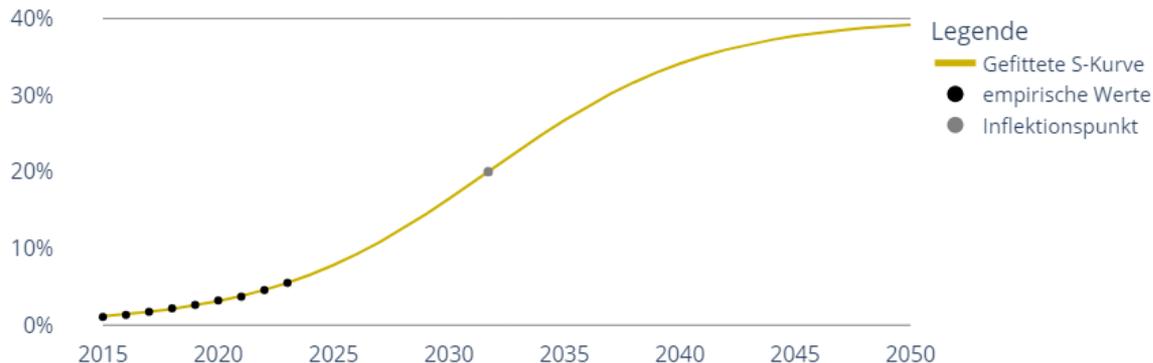
Einfache Modellierung einer S-Kurve

Ein Brute Force Ansatz in Python, kalibriert auf den historischen Anteilen von Solar an der Stromerzeugung, liefert optimale Werte $r = 0,211$ und $t_0 = 2031,7$:

$$f(t) = \frac{0,4}{1 + e^{-0,211*(t-2031,7)}}$$

Die Modellierung mit S-Kurve liefert eine Alternative zu linearem und exponentiellem Trend

S-Kurve, gefittet an historische Anteile von Solar an der Stromerzeugung



Prognosen der IEA

„Renewables are moving faster than national governments can set targets for. This is mainly driven not just by efforts to lower emissions or boost energy security – it’s increasingly because renewables today offer the cheapest option to add new power plants in almost all countries around the world“

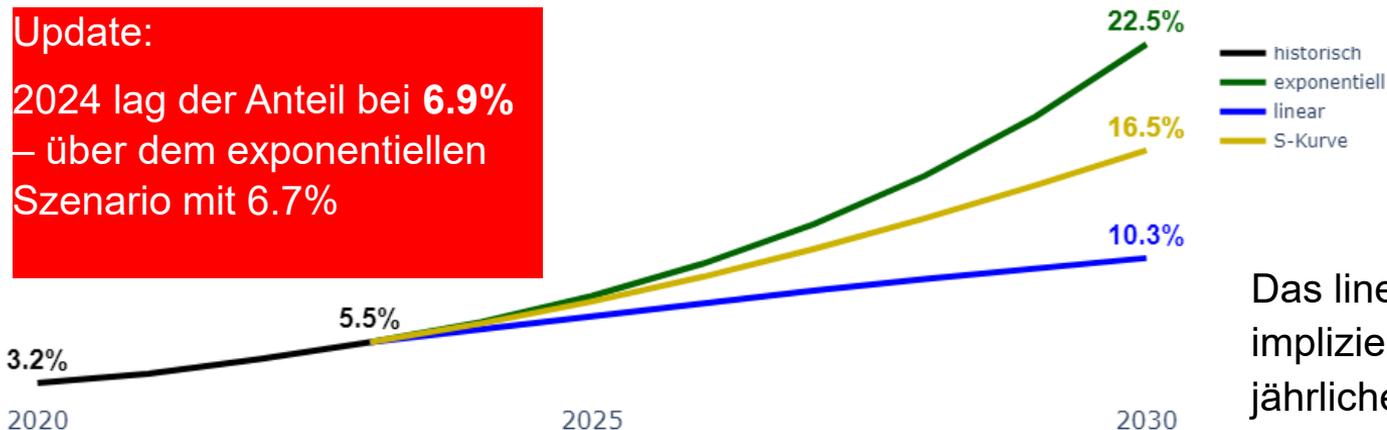
Fatih Birol, International Energy Agency Executive Director in September 2024

Aktuelle Erwartungen der IEA:

- Wachstum der erneuerbaren Erzeugungskapazitäten um 170% von 2023 bis 2030
- Peak Kohle in 2027
- Peak Gas bis 2030
- Peak Öl bis 2030

Szenarien für den Ausbau der Solarenergie

Szenarien Solarstromanteil weltweit 2020 bis 2030



Das lineare Szenario impliziert zehnmal höheren jährlichen Zubau als 2015 prognostiziert

Es geht aufwärts

Zusammenfassung

In den letzten zehn Jahren **stieg die globale Durchschnittstemperatur unvermindert an**. Die Prognosen sehen die Erderwärmung langfristig bei über 2 °C.

Die aus **Solarstrom produzierte Strommenge wuchs exponentiell** um rund 25% pro Jahr. Dieser Trend ist bisher ungebrochen.
Peak Kohle, Gas und Öl werden für die nahe Zukunft prognostiziert.

Es scheint, wir nehmen langsam den Fuß vom Gaspedal

**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit.**

Morgan Charlet, R+V Lebensversicherung AG