



# Erneuerbare Energien – Technologische Grundlagen und Bedeutung für nachhaltiges Leben auf unserem Planeten

Dr. Stefan Gürtzgen, SEC Online Vortrag, 14.1.24



## Agenda

- Warum sind erneuerbare Energien wichtig
- Welche erneuerbaren Energien gibt es
- Energiespeicherung und Infrastruktur
- Fazit



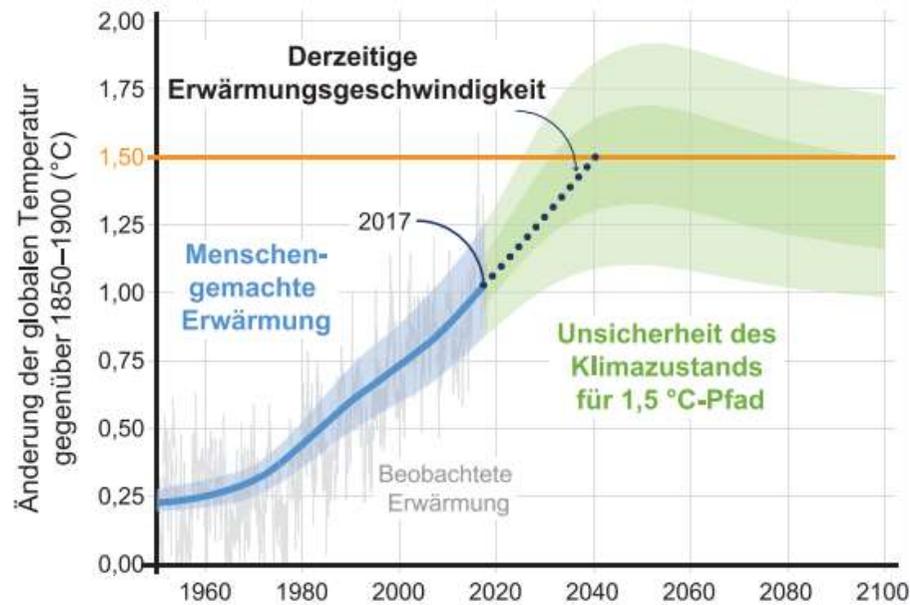
## Agenda

- Warum sind erneuerbare Energien wichtig
- Welche erneuerbaren Energien gibt es
- Energiespeicherung und Infrastruktur
- Fazit



**FAQ 1.2: Wie nah sind wir der 1,5 °C-Marke?**

Die menschengemachte Erwärmung erreichte 2017 etwa 1 °C über vorindustriellem Niveau.



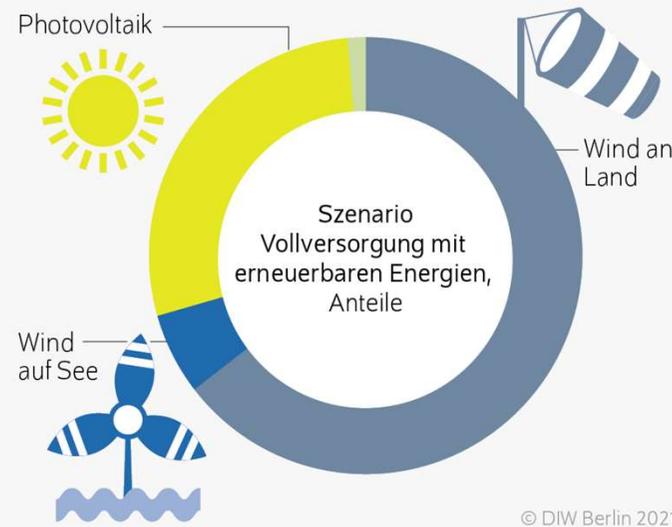
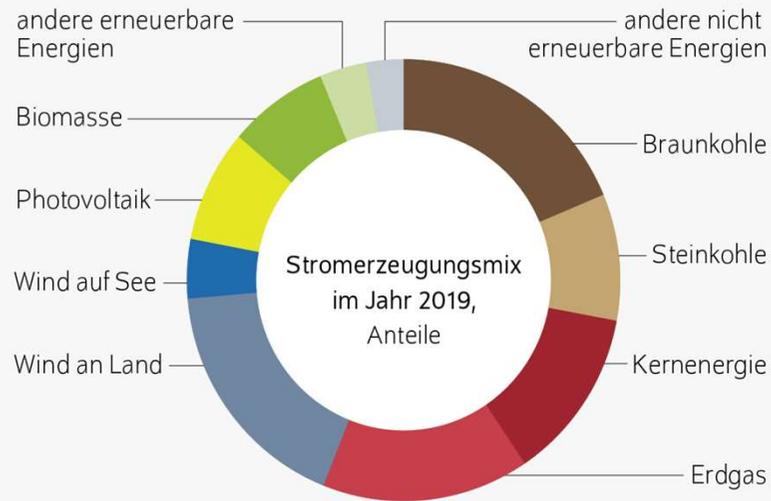
**FAQ 1.2, Abbildung 1** | Die menschengemachte Erwärmung erreichte 2017 etwa 1 °C über vorindustriellem Niveau. Mit der aktuellen Geschwindigkeit würden die globalen Temperaturen die 1,5 °C-Marke ungefähr im Jahr 2040 erreichen. Der hier gezeigte stilisierte 1,5 °C-Pfad beinhaltet einen sofortigen Beginn von Emissionsminderungen und CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bis 2055 auf Null gehen.

Es darf kein „weiter so“ geben, wenn das ausgegebene 1.5°C Klimaziel erreicht werden soll!

Quelle: IPCC – 2018 Intergovernmental Panel on Climate Change, FAQs



**Vollständig erneuerbare Energieversorgung in Deutschland ist möglich, erfordert aber von Grund auf anderen Stromerzeugungsmix – Windkraft an Land würde größte Rolle spielen**



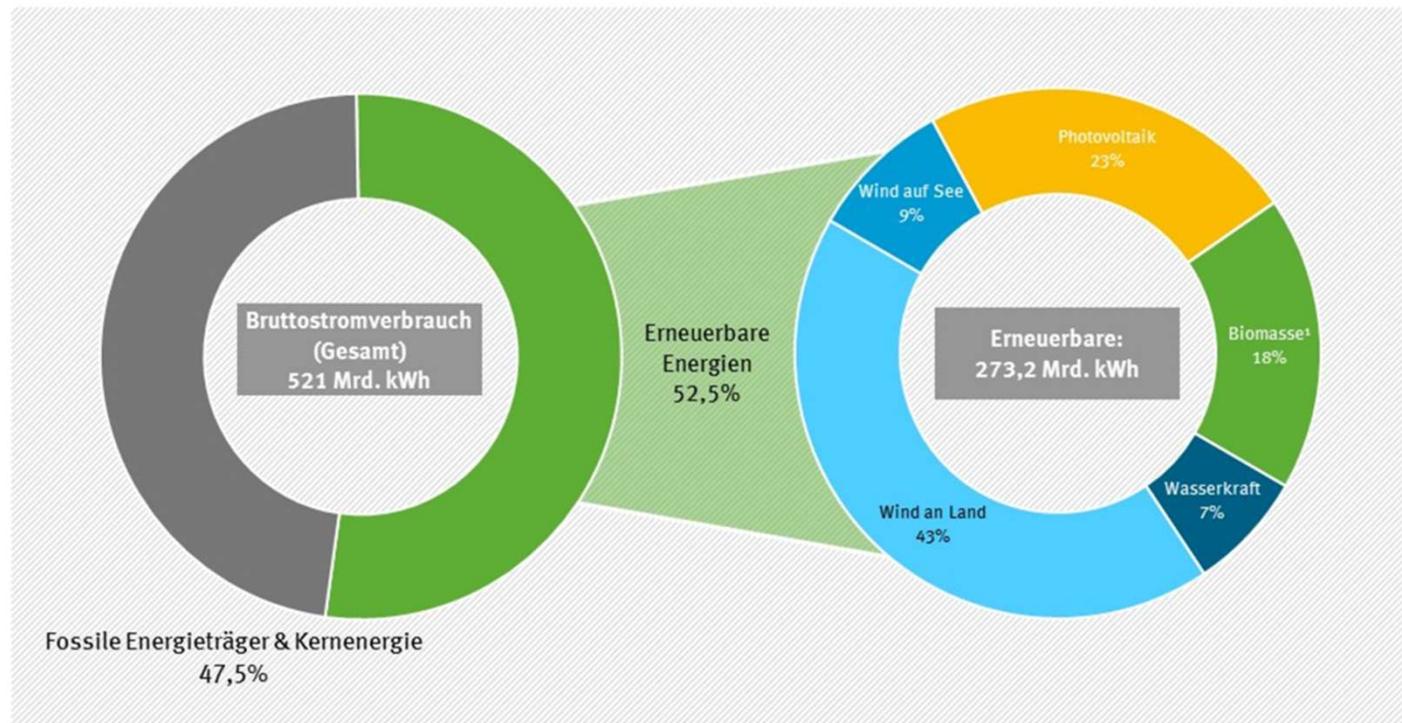
Quellen: AG Energiebilanzen; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2021



**Bruttostromverbrauch im Jahr 2023**

Anteile in Prozent [%]



Stromerzeugung aus Geothermie aufgrund geringer Mengen nicht dargestellt (0,2 TWh)  
<sup>†</sup> gasförmige, flüssige und feste Biomasse inkl. biogenem Abfall

Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat  
 Stand 09/2024



## Stromgestehungskosten

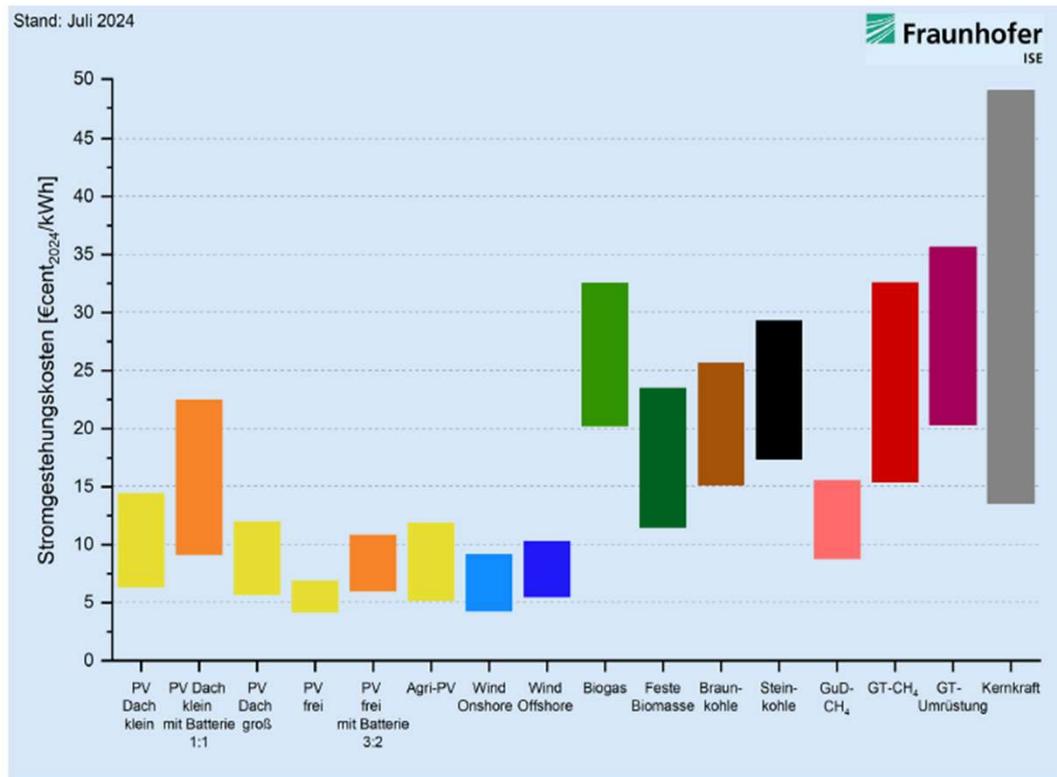


Abbildung 1: Stromgestehungskosten für Erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2024. Spezifische Stromgestehungskosten sind mit einem minimalen und einem maximalen Wert je Technologie berücksichtigt.

### Definition Stromgestehungskosten:

Stromgestehungskosten sind in der Energiewirtschaft eine Maßeinheit, die die Kosten für die Errichtung und den jährlichen Betrieb einer Anlage ins Verhältnis zur Stromerzeugungsmenge über die gesamte Lebensdauer der Anlage setzt.

[Quelle – Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Fraunhofer ISE](#)



## Agenda

- Warum sind erneuerbare Energien wichtig
- Welche erneuerbaren Energien gibt es
- Energiespeicherung und Infrastruktur
- Fazit



## Definition erneuerbare Energien

Als erneuerbare Energien (EE) oder regenerative Energien werden Energiequellen bezeichnet, die im menschlichen Zeithorizont für nachhaltige Energieversorgung praktisch unerschöpflich zur Verfügung stehen oder sich verhältnismäßig schnell erneuern. Damit grenzen sie sich von fossilen Energiequellen ab, die endlich sind oder sich erst über den Zeitraum von Millionen Jahren regenerieren.

### Die wichtigsten erneuerbaren Energiequellen

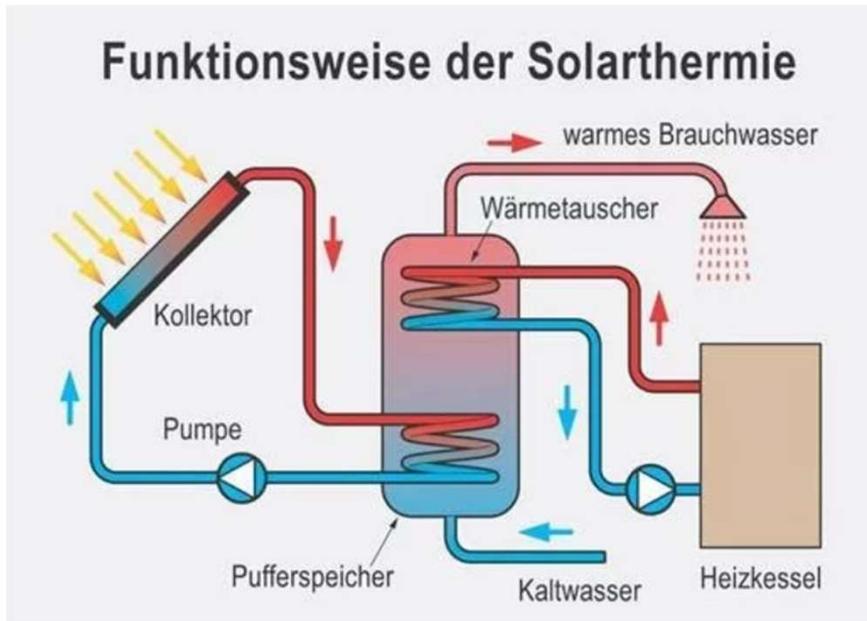
- Sonne
- Wind
- Geothermie
- Biomasse
- Wasserkraft
- **Kernspaltung (fraglich)**

### Zukünftig mögliche erneuerbare Energiequellen

- **Kernfusion**



## Solarenergie - Solarthermie



Quelle: [www.energiesparen-im-haushalt.de](http://www.energiesparen-im-haushalt.de)

### Definition

Unter Solarthermie (abgekürzt ST) versteht man die Umwandlung der Sonnenenergie z. B. durch thermische Solaranlagen in nutzbare thermische Energie.

### Prinzip und Anwendung

Direkte Aufnahme von Wärme durch spezielle Materialien (z.B. Salze, Paraffin, Wasser etc.). Typische Anwendungen: Gebäudeheizung und Warmwasser.

### Pro

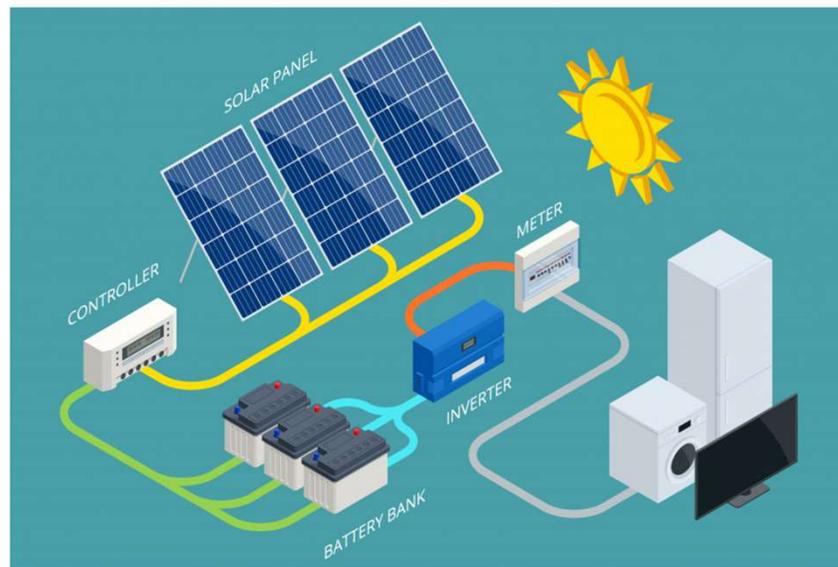
Technisch ausgereift, wartungsarm und langlebig.

### Contra

Nicht grundlastfähig, viel Wärme im Sommer, wenig im Winter.



## Solarenergie - Photovoltaik



© Golden Sikorka – stock.adobe.com

### Definition

Unter Photovoltaik bzw. Fotovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Lichtenergie, meist aus Sonnenlicht, mittels Solarzellen in elektrische Energie.

### Prinzip und Anwendung

Zur Energiewandlung wird der photoelektrische Effekt von Solarzellen genutzt, die ihrerseits wiederum zu so genannten Solarmodulen verbunden werden. Typische Anwendungen: Stromversorgung, Gebäudeheizung und Warmwasser.

### Pro

Dezentrale Energieversorgung, Unabhängigkeit von größeren Stromerzeugern.

### Contra

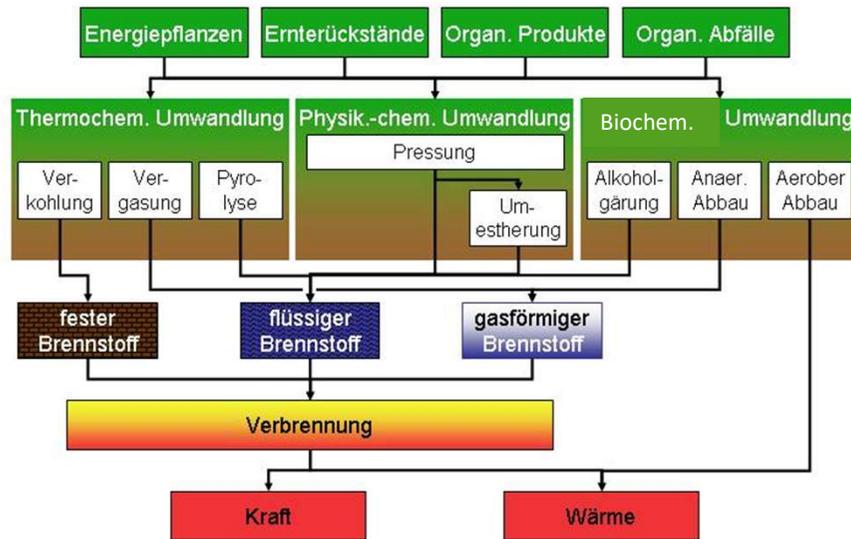
Nicht grundlastfähig/schwankende Ausbeute.

[Quelle - Photovoltaik-ohne-Wechselrichter-kann-das-funktionieren?](#)



## Biomasse - verschiedene Formen

### Wandlungsketten für Bioenergieträger



### Definition

Unter dem Begriff Biomasse lassen sich alle nachwachsenden Stoffe tierischer oder pflanzlicher Herkunft zusammenfassen, die zur Erzeugung von Energie genutzt werden können.

### Prinzip und Anwendung

Bioenergie ist eine Energieform, die durch die Umwandlung von Biomasse in elektrische Energie, Wärme oder Kraftstoff gewonnen wird.

### Pro

Vielfältig einsetzbar, dauerhafte Verfügbarkeit.

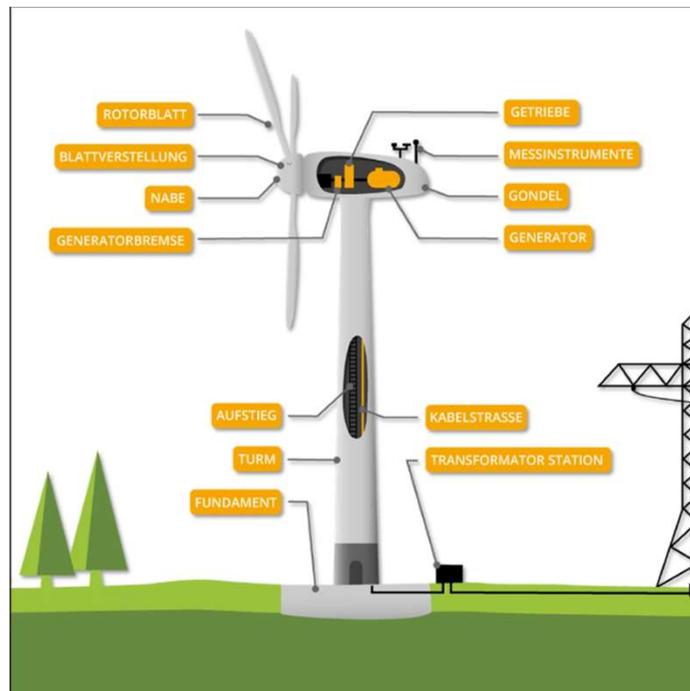
### Contra

Keine unbegrenzten Erweiterungsmöglichkeiten, schlechtere CO<sub>2</sub> Bilanz verglichen mit z.B. Sonne und Wind.

[Quelle - Biomassekraftwerke](#)



## Windkraft



### Definition

Die Windenergie ist die großtechnische Nutzung des Windes als erneuerbare Energiequelle.

### Prinzip und Anwendung

Windkraftanlagen wandeln die Energie des Windes in elektrische Energie um, die dann ins Stromnetz eingespeist wird.

### Pro

Windkraftenergie ist sehr sauber (auch wenig CO<sub>2</sub> bei Herstellung der Anlagen).

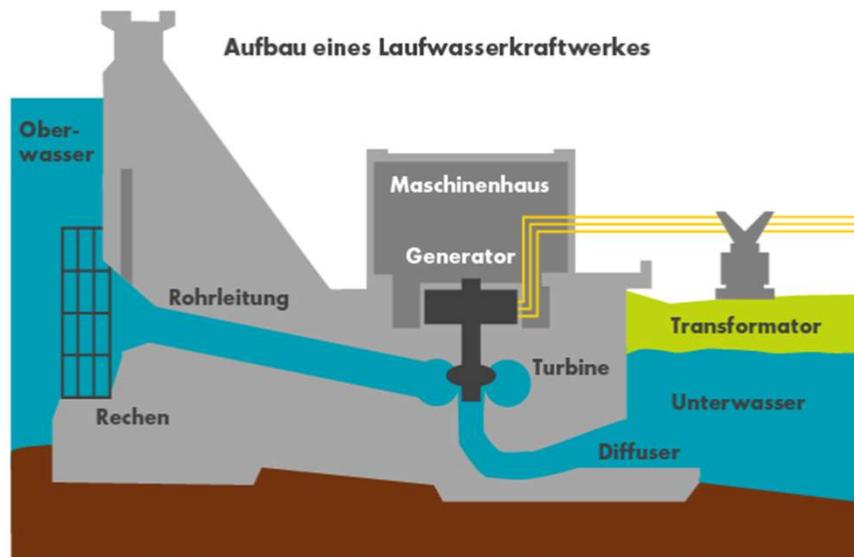
### Contra

Nicht grundlastfähig, Interaktion mit Umwelt (Vogelschlag), verschandeln Landschaftsbilder, zusätzliche Stromtrassen für Off-Shore Anlagen, komplexe Steuerung.

[Quelle - Windkraftanlage Aufbau Und Funktionsweise - Bing images](#)



## Wasserkraft



### Definition

Wasserkraft ist eine regenerative Energiequelle, die die potenzielle oder kinetische Energie des Wassers mittels einer Wasserkraftmaschine in mechanische Arbeit umsetzt.

### Prinzip und Anwendung

Ein Wasserkraftwerk oder eine Wasserkraftanlage nutzt Wasser, um elektrischen Strom zu erzeugen. Das bedeutet konkret, dass es die kinetische Energie oder die potentielle Energie des Wassers in elektrische Energie umwandelt.

### Pro

Effizient, hohe Grundlastfähigkeit.

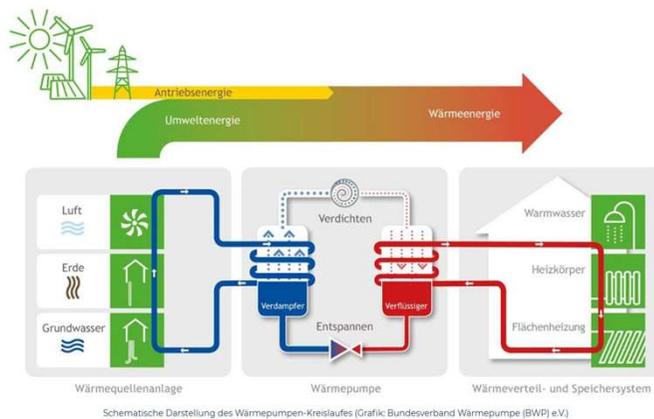
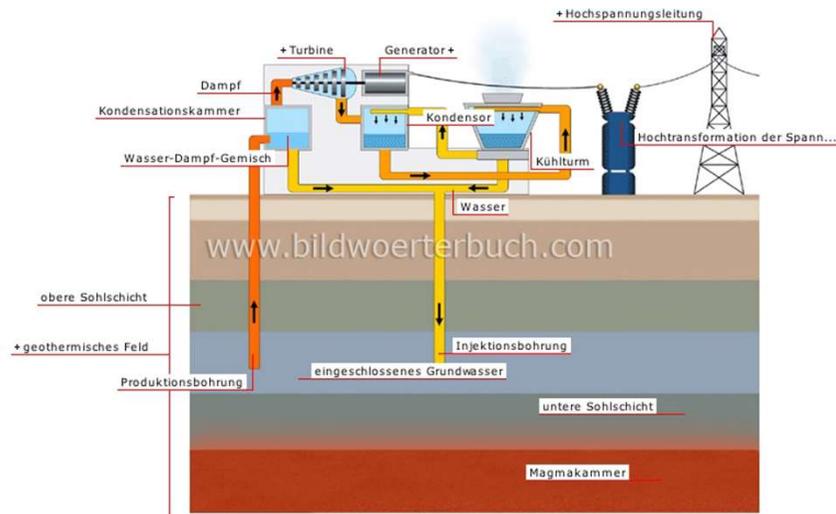
### Contra

Kostspielig und nur sinnvoll an geeigneten Standorten. Wasserkraftwerke unterbrechen auch den natürlichen Lauf eines Gewässers und beeinflussen das Ökosystem.

[Quelle - Fließende-Energie-Das-leisten-Wasserkraftwerke-fuer-die-Energiewende](#)



## Geothermie und Spezialfall Wärmepumpe



Schematische Darstellung des Wärmepumpen-Kreislaufes (Grafik Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.)

### Definition

Geothermie oder Erdwärme ist die im zugänglichen Teil der Erdkruste gespeicherte Wärme, sie kann aus dem Erdinneren stammen oder durch Niederschläge oder Schmelzwasser eingebracht worden sein und zählt zu den regenerativen Energien.

### Prinzip und Anwendung

Zur Erzeugung von Strom aus geothermischer Wärme über eine Turbine und einen Generator wird ein Gas, also entweder Wasserdampf oder ein organisches Gas, benötigt.

### Pro

Hohe Grundlastfähigkeit und Verfügbarkeit, flexibel einsetzbar (Strom, Wärme, Kühlung).

### Contra

Wirtschaftlichkeit (Bohrungen!), möglicher Einfluss auf Grundwasserspiegel und Bodenstabilität.

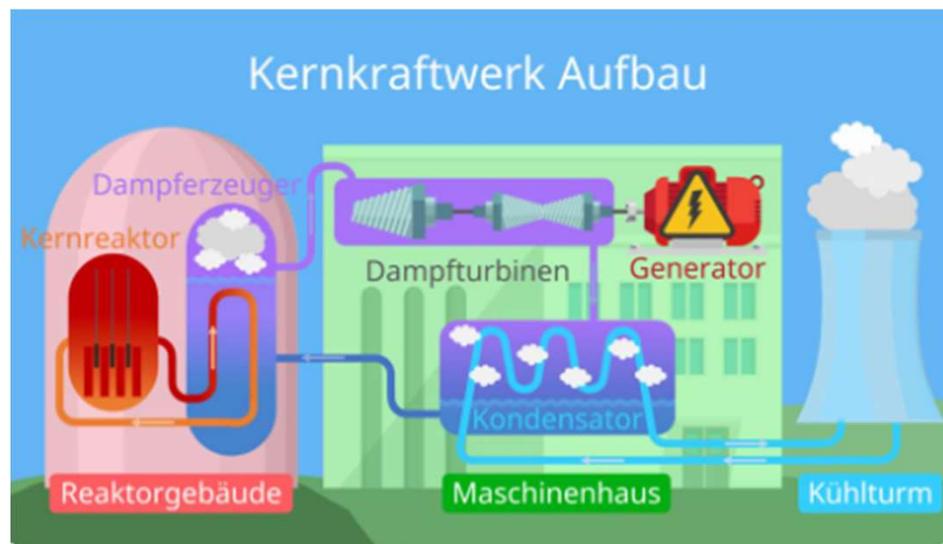
[Quelle - production-of-electricity-from-geothermal-energy](#)

[Quelle - Waermepumpe-Technik](#)



Hier nicht  
näher  
betrachtet

## Kernspaltung (keine „erneuerbare Energie“ aber CO<sub>2</sub> emissionsfrei)



Kernkraftwerk Aufbau (Druckwasserreaktor)

### Definition

Die Kernspaltung oder Atomspaltung beschreibt den Prozess, bei dem ein schwerer Atomkern in zwei kleinere Atomkerne zerlegt wird. Dabei werden mehrere Neutronen und Energie freigesetzt. Die Energie nennt du Kernenergie.

### Prinzip und Anwendung

Wirtschaftliche Bedeutung hat die neutroneninduzierte Spaltung von Uran-235 und Plutonium-239 als Kettenreaktion in Kernreaktoren. Hierbei wird die Bewegungsenergie der Spaltprodukte und die Energie der entstehenden Strahlung durch Stöße mit dem Material der Umgebung in Wärme umgewandelt.

### Pro

Hohe Grundlastfähigkeit, keine CO<sub>2</sub> Emissionen.

### Contra

Nicht geregelte Entsorgung und Endlagerung! Extrem hohe Auswirkungen im möglichen Schadensfall!

[Quelle - Kernkraftwerk](#)



Hier nicht näher betrachtet

## Weitere erneuerbare Energiequellen – Kernfusion



### Definition

Als Kernfusion werden Kernreaktionen bezeichnet, bei denen je zwei Atomkerne zu einem neuen Kern verschmelzen. Kernfusionsreaktionen sind die Ursache dafür, dass die Sonne und alle leuchtenden Sterne Energie abstrahlen.

### Prinzip und Anwendung

In internationaler Kooperation wird erforscht, ob und wie sich Fusionsenergie zur Stromerzeugung nutzen lässt. Wirtschaftliche Nutzbarkeit nicht vor 2050 erwartet.

### Pro

Hohe Grundlastfähigkeit, keine CO<sub>2</sub> Emissionen und radioaktiven Abfälle, unbegrenzt verfügbar.

### Contra

Technisch extrem anspruchsvoll, sehr hoher Gesamtenergiebedarf, Gefahr radioaktiver Fallouts bei Sabotage.

[Quelle - galileo.tv/technik/kernfusion-ist-das-die-energie-der-zukunft/](https://www.galileo.tv/technik/kernfusion-ist-das-die-energie-der-zukunft/)



## Agenda

- Warum sind erneuerbare Energien wichtig
- Welche erneuerbaren Energien gibt es
- **Energiespeicherung und Infrastruktur**
- Fazit



## Problem der Grundlastfähigkeit und Möglichkeiten zur Energiespeicherung

### Warum ist Grundlast wichtig?

Erneuerbare Energien wie z.B. Solar- oder Windkraft stehen nicht permanent zur Verfügung und können somit nicht eine ganztägige, bedarfsgerechte Energieversorgung gewährleisten. Sogenannte „Dunkelflauten“ treten bei sonnen – und windarmen Perioden auf und müssen überbrückt werden, um Industrieprozesse, Gebäude, Haushalte etc. auch in solchen Zeiten mit Energie zu versorgen.

Hier können **Speichertechnologien** sowie ein **Umbau der aktuellen Netzinfrastruktur** einen wesentlichen Beitrag zur besseren Nutzung erneuerbarer Energie leisten.

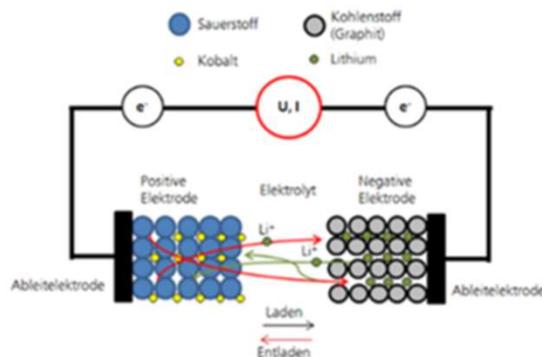
Zur Zeit müssen solche Lücken noch mit fossilen Brennstoffen oder Atomstrom (z.B. Zukauf aus Nachbarländern) gedeckt werden!

### Die wichtigsten Speichermöglichkeiten

- **Fossile Speicher (Erdöl, Erdgas, Kohle, bekannt und hier nicht weiter behandelt aufgrund CO<sub>2</sub> Problematik)**
- Batterien
- Mechanische Speicher
- Wärmespeicher
- Power-to-X



## Batterien - Beispiel: Li-Ionen Akku und Redox-Flow Batterie



Prinzip einer Lithium-Ionen-Batterie  
© Fraunhofer UMSICHT, Fraunhofer IWS 31.10.2014: Metastudie Energiespeicher, Abb. 3-50

### Prinzip und Anwendung

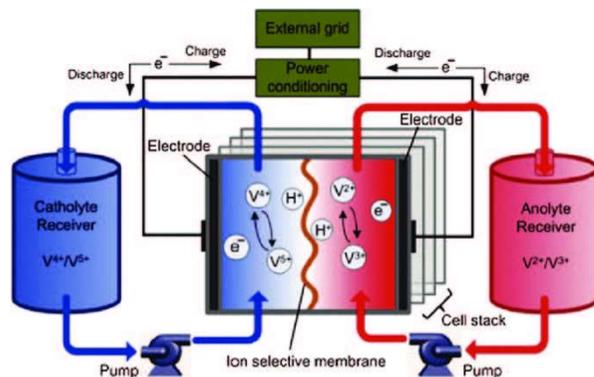
Die bekannten Batteriespeicher auf Blei-, Lithium- oder Natrium-Schwefel-Basis werden zur Überbrückung von mehreren Stunden bis Tagen eingesetzt. Elektrochemische Speichersysteme, z.B. Redox-Flow Batterien, nutzen Tanks zur Speicherung und können Energie über mehrere Wochen aufbewahren.

### Pro

Vielfältige Anwendungsbereiche, da sie einen hohen Wirkungsgrad, eine schnelle Reaktionszeit sowie eine geringe Selbstentladung aufweisen. Redox-Flow-Batterien erlauben die Versorgung ganzer Industriegebiete, Dörfer oder sogar ganzer Städte mit Energie.

### Contra

Kostspielig, bei manchen Typen besteht auch eine erhöhte Brandgefahr (Lithium-Batterien). Energiedichte ist bei Redox-Flow Batterien aufgrund Platzbedarf und Gewicht ausschließlich im stationären Einsatz.



[Quelle - batteriespeicher abbildungen - Bing images](#)

[Quelle - redox flow batterien abbildungen - Bing images/](#)



## Batterien – Ausblick

### Problem: Verfügbarkeit der Rohstoffe und Nachhaltigkeit

Die Hauptkomponenten für Li-Ionen Akkus stammen aus chilenischen Salzwüsten bzw. australischen Tagebauen (Lithium), aus dem Kongo (Kobalt) oder aus China (Graphit). Der Abbau führt nicht nur zu unerwünschten Abhängigkeiten, sondern auch zu ökologischen Schäden bzw. inhumanen Arbeitsbedingungen. Dies führt aktuell zu verstärkter Suche nach alternativen Materialien mit ähnlich hoher Speicherdichte wie Lithium, die kostengünstig und überall in großer Menge auch ökologisch verträglich verfügbar sind.

### Mögliche Alternativen zu Li-Ionen Batterien

- **Natrium-Ionen Batterien** mit Hartkohlenstoff als Anode und Mangan und Eisen als Kathodenkomponenten
- **Calcium-Luft Batterien** auf Basis von Calcium oder Calcium/Zinn als Anode und Kohlenstoffnanoröhrchen mit Sauerstoff gespeist oder organische Polymere als Kathode

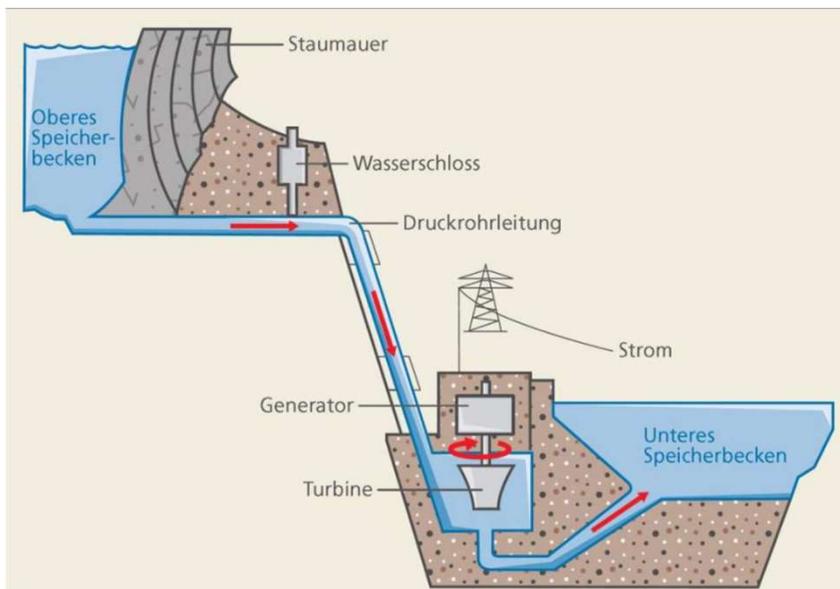
### Kritische Erfolgsfaktoren für den (insbesondere mobilen Einsatz):

- Ladezyklen, Speicherkapazität, Energiedichte, Spannung, Masse und Volumen

Quelle – Spektrum der Wissenschaft 12, 2024, p50ff



## Mechanische Speicher (Beispiel: Pumpspeicher)



### Prinzip und Anwendung

Durch Umwandlung in andere Energieformen lässt sich der Strom längerfristig einspeichern. Wasser ist für verschiedene Speicherformen ein geeignetes Medium – so auch für das Pumpspeicherkraftwerk. Hier nutzt man die potentielle Lageenergie des Wassers.

### Pro

Hohe Effizienz und Speicherkapazität.

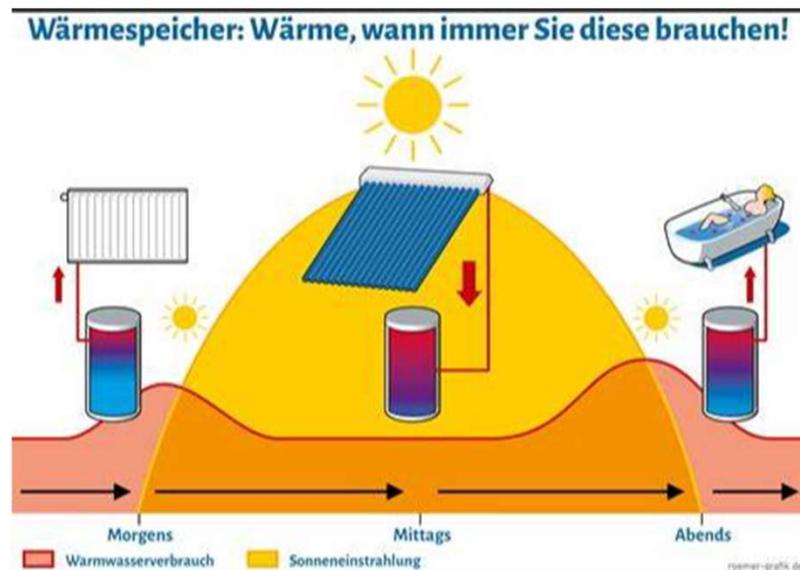
### Contra

Kostspielig und nur sinnvoll an geeigneten Standorten. Wasserkraftwerke unterbrechen auch den natürlichen Lauf eines Gewässers und beeinflussen das Ökosystem.

[Quelle - pumpspeicherkraftwer abbildungen - Bing images/](#)



## Wärmespeicher



### Prinzip und Anwendung

Wärmespeicher sind Speicher für thermische Energie. Wärmespeicher können in unterschiedlichen Größen errichtet werden, die von dezentralen Kleinanlagen bis zu großen zentralen Speichern reichen. Sie können je nach Bauart Niedertemperaturwärme zur Raumheizung oder Hochtemperaturwärme für industrielle Anwendungen aufnehmen und wieder abgeben.

### Pro

Höchste Effizienz bei hohen Temperaturen (z.B. Salzschnmelzen).

### Contra

Sinnvoll und kostengünstig nur bei hoher Verfügbarkeit von Wärme (Sonneneinstrahlung!).

[Quelle - wärmespeicher abbildungen - Bing images](#)



## Power-to-X - Überblick

### Prinzip und Anwendung

Unter Power-to-X versteht man alle Verfahren, die Ökostrom / Grünen Strom in chemische Energieträger zur Stromspeicherung, in strombasierte Kraftstoffe zur Mobilität oder Rohstoffe für die Chemieindustrie umwandeln. Auf klimafreundliche Art lässt sich mit Power-to-X beispielsweise Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge herstellen, aber auch Kerosin für Flugzeuge. Power bezeichnet die über dem Bedarf liegenden zeitweisen Stromüberschüsse und X steht für die Energieform oder den Verwendungszweck.

**Power-to-Gas:** Erzeugung von Erdgas mithilfe von überschüssigem Strom

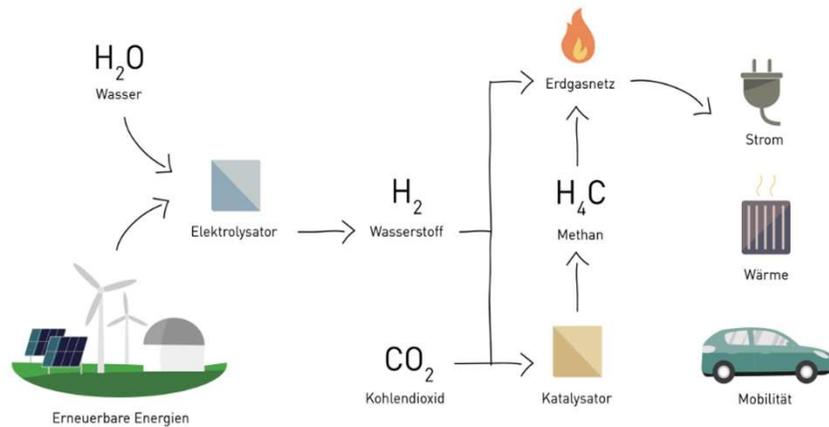
**Power-to-Liquid:** Erzeugung von Kraftstoffen mithilfe von überschüssigem Strom

**Power-to-Heat:** Erzeugung von Prozess-/Speicherwärme mithilfe von überschüssigem Strom

**Power-to-Chemicals:** Erzeugung von diversen Grundchemikalien mithilfe von überschüssigem Strom

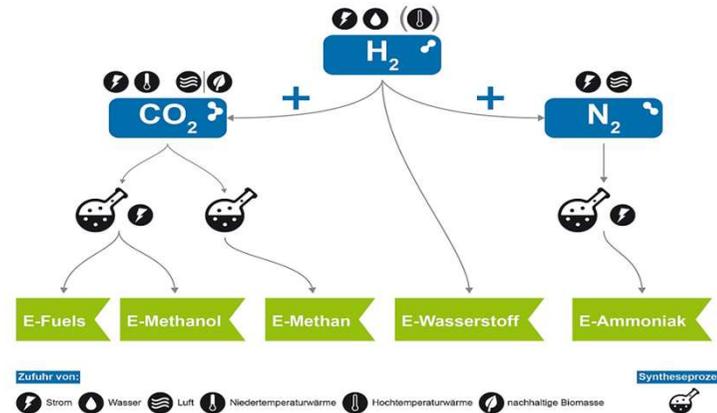


## Power-to-Gas



## Power-to-Liquid/Chemicals

Power-to-X: Überblick Ausgangsstoffe, Prozesse und PtX-Produkte  
Wie aus Strom Brennstoffe und chemische Grundstoffe entstehen



[Quelle - power-to-gas abbildungen - Bing images](#)

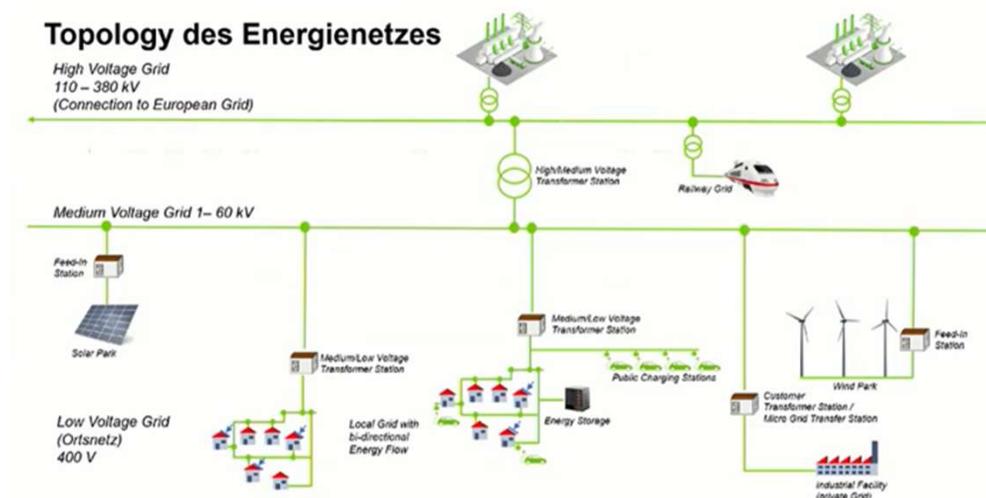
[Quelle - Power to Chemicals - Abbildungen](#)



## Umwandlung/Anpassung der aktuellen Netzwerktopologie

### Sicherung durchgängiger und bedarfsgerechter Verfügbarkeit erneuerbarer Energien

Um eine durchgängige und bedarfsgerechte Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie zu gewährleisten, muss die aktuelle Netzwerktopologie flächendeckend überarbeitet werden. Aktuell wird z.B. in Norddeutschland erzeugte Windenergie nur suboptimal genutzt, da die bei voller Leistung erzeugte Energie von den Netzen nicht aufgenommen und verteilt werden kann. Dies führt zu einem Stillstand der Windkraftanlagen von bis zu 30%.





## Agenda

- Warum sind erneuerbare Energien wichtig
- Welche erneuerbaren Energien gibt es
- Energiespeicherung und Infrastruktur
- **Fazit**



## Fazit/Ausblick

- Zur Bekämpfung des **Klimawandels** ist eine **Defossilierung** unserer Gesellschaft unumgänglich.
- Eine **autarke Stromversorgung mittels erneuerbaren Energien** ist in Deutschland grundsätzlich möglich, allerdings müssen folgende Voraussetzungen geschaffen werden:
  - Entwicklung, technische Umsetzung und Skalierung von **Speichertechnologien** zur Überbrückung von „Dunkelflauten“.
  - Anpassung bzw. Ausbau der aktuellen **Netzinfrastruktur** um eine gleichmäßige bzw. bedarfsgerechte Verteilung des erzeugten Stroms innerhalb Deutschlands zu gewährleisten, ggf. Integration mit den Nachbarländern und Ausbau in Richtung eines europaweiten, einheitlichen Stromnetzes.
  - **Nutzung von KI** zur Steuerung der Stromerzeugung und Verteilung.
- Erneuerbare Energien besitzen im Vergleich zu fossilen Energien und Kernkraft **deutlich geringere Gesteungskosten**.
- Weitere **Investitionen in innovative Technologien** (z.B. Solarzellen mit besseren Wirkungsgraden, Batteriematerialien, e-Fuels etc.).
- Konsequenter **Ausbau des Wasserstoffnetzes** (siehe z.B. [Hydrogenious LOHC Solutions](#)).
- **Umstellung von Industrieprozessen** auf erneuerbare Energien (Anfänge sind bereits gemacht, z.B. elektrische Befeuerung von Steam Crackern, Stahlproduktion mittels Wasserstoff).
- Welchen **Beitrag zum Energiewandel** kann ich als **Individuum** leisten (Solarenergie, Wärmepumpe etc. aber auch Einsparung von Energie durch Verhaltensänderung).



# SuCoNetwork e.V.

Sustainability Collaboration Network

## Verantwortlich

SuCoNetwork e.V.

Norbert Becker, Friedhelm Brandau, Dr. Stefan Gürtzgen, Dr. Thomas Karlewski

E-Mail: [info@suconetwork.com](mailto:info@suconetwork.com)

Webseite: [www.suconetwork.com](http://www.suconetwork.com)

Telefon: +49 151 1751 8528