

Neue Wege bei grüner Energie

Mathias Hoder

10. September 2026

Energiemarkt

Allgemeine Entwicklungen

Der weltweite Energiebedarf steigt rasant, fossile Energieträger sind endlich und umweltschädlich



Gesamtenergie

+5%

Stetiger Anstieg des Energieverbrauchs in **Indonesien**, der sich seit 2010 fast verdoppelt hat.



Rohöl

+3%

Anstieg der Ölförderung im **Nahen Osten** im Jahr 2025.



Ölprodukte

+21%

Dank der lokalen Produktion wird der Verbrauch an Erdölprodukten in **Nigeria** im Jahr 2025 stark ansteigen.



Erdgas

+5%

Anstieg des Gasverbrauchs in **Saudi-Arabien**, insbesondere im Stromsektor.



Kohle, Braunkohle

+10%

Aufschwung in den **USA** aufgrund einer kohlefreundlichen Politik und steigender Stromnachfrage.



Elektrizität

34%

Anteil von **China** am weltweiten Stromverbrauch im Jahr 2025.

Quelle: <https://energiestatistik.enerdata.net/>

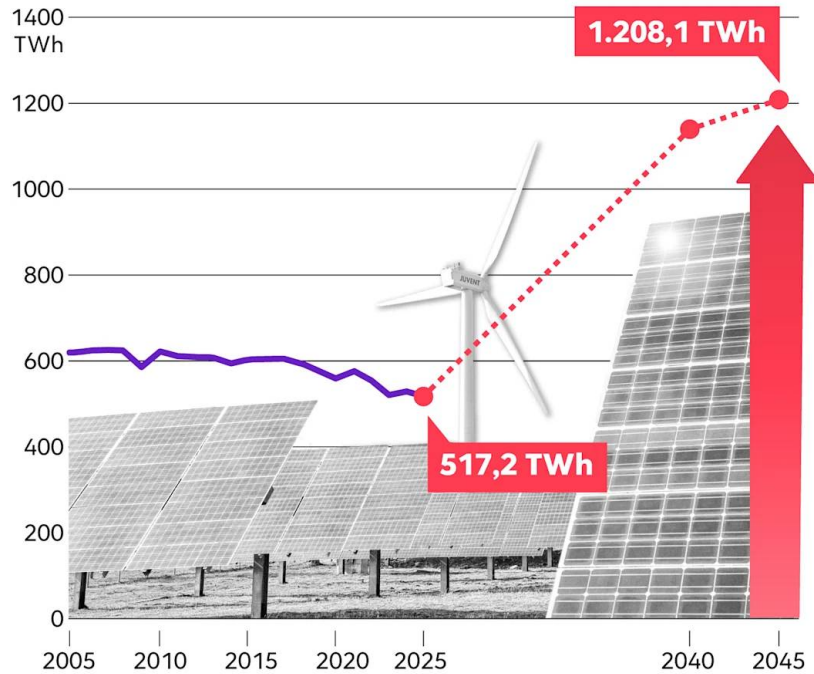
Weltweiter Stromverbrauch 2025

China	9,398
Vereinigte Staaten	4,205
Indien	1,610
Russland	1,018
Japan	909
Brasilien	643
Kanada	583
Südkorea	556
Deutschland	468
Frankreich	419
Saudiarabien	377
Iran	355

Energiemarkt

Ausblick

Deutschland: Stromhunger steigt, auch die Politik ist Kostentreiber



ThePioneer

Quelle: Szenariorahmenentwurf
zum NEP (Szenario C)

powered by
statista

Politik versus Markt

- Steigender Bedarf durch Industrie, Verkehr, Rechenzentren
- Angebotsverknappung durch Stilllegungen → Preisanstieg
- Dann Neubau → das dauert
- Entschädigungen für Ausstieg aus Kernenergie, Kohle
- USA: Trump zahlt 1,2 Mrd. Für Abbruch Windparkbau im Atlantik
- KI ist Energiehungrig und zahlungsbereit → Preisanstieg

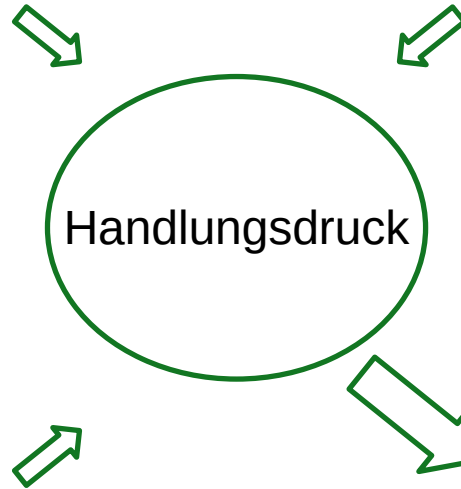
Grüne Energie

Trend zu erneuerbaren Energien

Preisdruck, Krisen und Umweltaspekte sind wesentliche Treiber, die Energieerzeugung auf nachhaltige Technologien umzustellen.

- Fossile Energieträger gehen zur Neige
- Mit der steigenden Nachfrage ergibt sich ein signifikanter permanenter Preisanstieg

- Politische Krisen und Kriege gefährden die Versorgung und treiben die Preise, z.B.
 - Ukraine-Krieg
 - Northstream Zerstörung
 - Seeblockade der Straße von Hormus



- Kohle, Erdgas und Erdöl erzeugen CO₂ bei der Verbrennung, dass die Erderwärmung massiv befördert
- Weitere Schadstoffe aus der Verbrennung, wie Schwefel und Quecksilber belasten unsere Gesundheit

Der technologische Fortschritt führt zu sinkenden Kosten bei Solarstromerzeugung und Windkraft.

Speichertechnologien entwickeln sich rasant

Fusionskraftwerke werden entwickelt

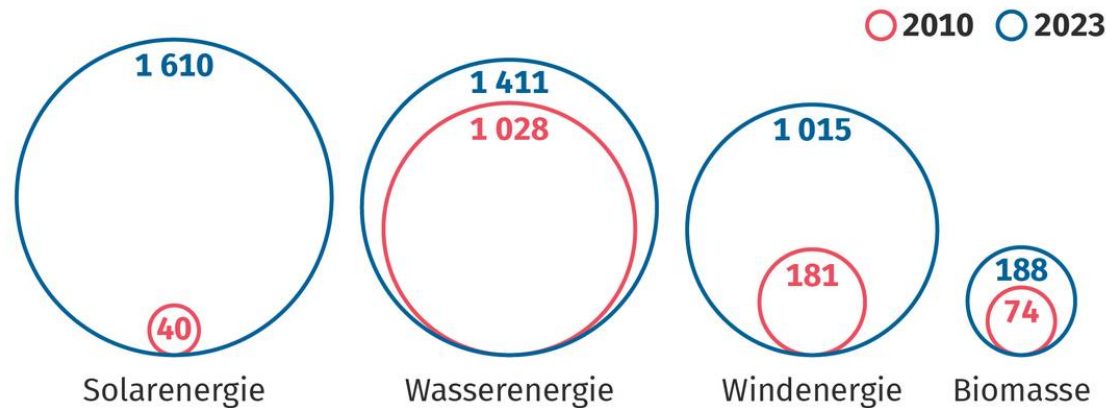
Grüne Energie

Kostenentwicklung in der Erzeugung

Über 90 Prozent der 2025 gebauten Großanlagen für erneuerbare Energie waren günstiger als jede neue fossile Alternative.

Ausbau erneuerbarer Energien

Weltweit installierte Leistung, Gigawatt (GW)



Quelle: IEA. Grafik berücksichtigt die vier leistungsstärksten Quellen erneuerbarer Energie

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2024

DESTATIS
Statistisches Bundesamt

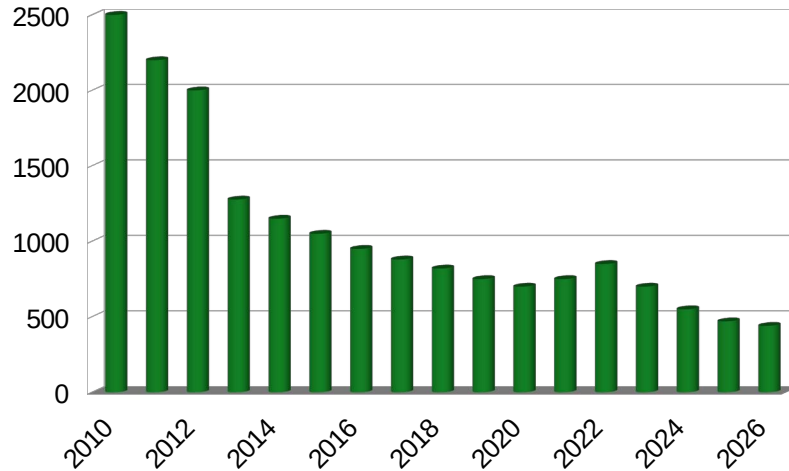
Kosten 2025

- Der IRENA – Bericht “Renewable Power Generation Costs in 2025” (Internationale Agentur für Erneuerbare Energien) basiert auf Auktionsergebnissen, Stromabnahmeverträgen und Tarifen realer Großprojekte weltweit:
- Der LCOE (Levelized Cost of Electricity) über die gesamte Lebensdauerdiskontierte Vollkosten pro Megawattstunde
- Solar PV: Stabil bei 44 US\$/MWh 2025
- Onshore-Wind sank um 4 Prozent auf 33 US\$/MWh
- Offshore-Wind um 3 Prozent auf 78 US\$/MWh

Heim-Solaranlagen

Preisentwicklung

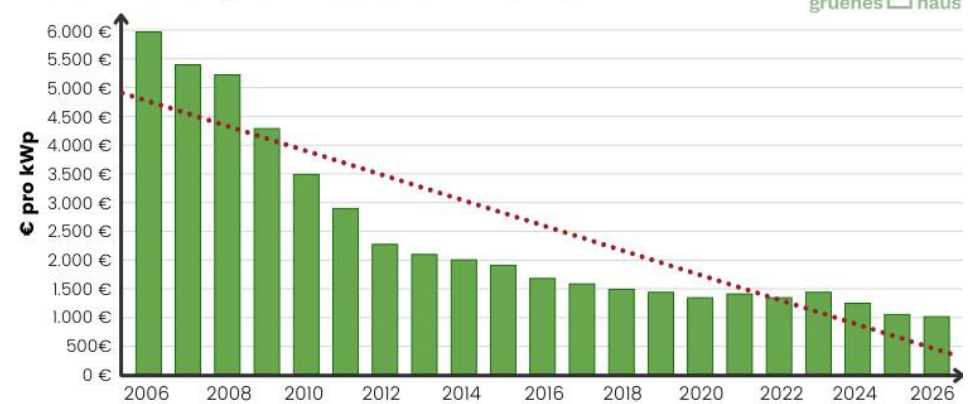
Sinkende Preise und politische Randbedingungen haben maßgeblich zur Popularität von Solaranlagen beigetragen.



Mittlerer Preis pro kWh für 10 kWh Batterien

Quelle: <https://www.energie-experten.org>

Preisentwicklung von Photovoltaik in €/kWp



Preisentwicklung Komplettinstallationen ohne Batterie

Quelle: <https://gruenes.haus/photovoltaik-preisentwicklung/>

Heim-Solaranlagen

Neue Balkonkraftwerke

Eine neue Generation von Kleinanlagen mit Batterie erobert den Markt – mit beachtlichen Leistungswerten.



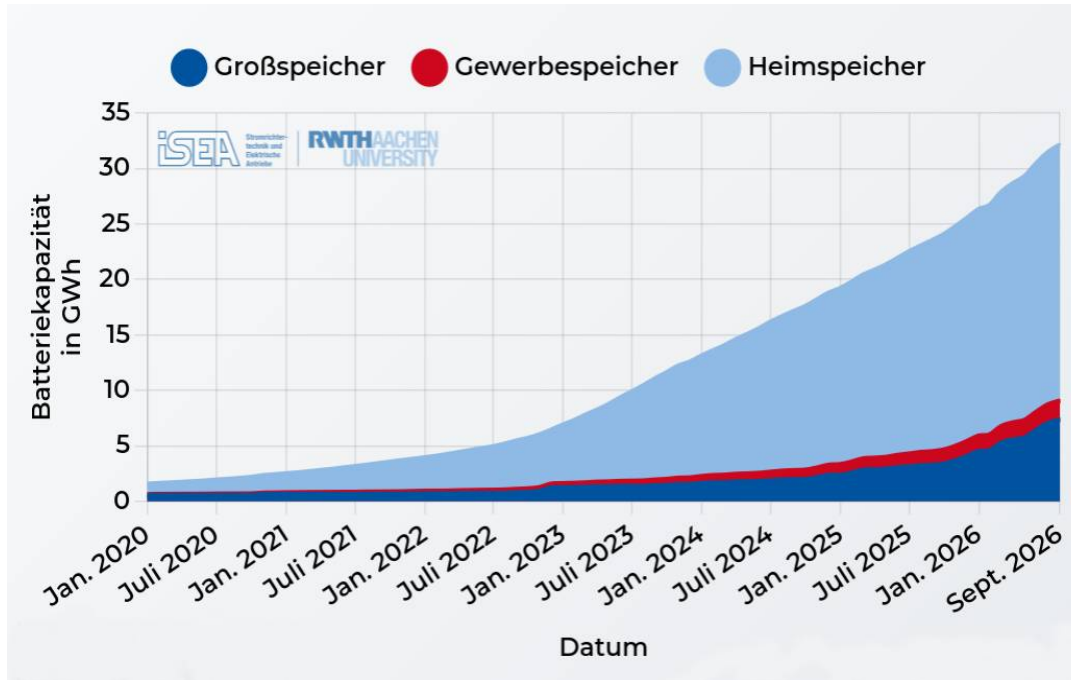
Eckdaten

- Systeme bieten eine echte Alternative zu großen PV Anlagen
- Pakete aus Solarzellen, Wechselrichter, Batterie und Power Sensor für die Zählertafel
- Auch einzelne Batteriepakete mit AC Kopplung erhältlich
- z.B. Set aus 8 Panels á 500W incl. Ständer, Kabeln, WR mit 5kWh Akku und Power Sensor: Preis unter 2800€
- Nominelle Einspeisung 800W, auch auf 2.500W einstellbar, zusätzlich lokale Steckdose bis 16A als Notstrom
→ Produziert bei guter Ausrichtung ca. 4.000 kWh / Jahr

Batteriespeicher in Deutschland

Die installierte Batteriekapazität wächst rasant, Langzeitspeicher sind auch in Sicht

Die in Deutschland installierten Batteriesysteme verfügen über eine Gesamtkapazität von 29,8 GWh.



- Heimspeicher dominieren den Markt: 75 % der gesamten Kapazität sind in Heimspeichern installiert.
- Verbraucher haben erkannt, wie sinnvoll und gewinnbringend Batterien vor allem in Kombination mit Solaranlage, Wärmepumpe oder E-Auto sind.
- Solar PV: Stabil bei 44 US\$/MWh 2025
- Onshore-Wind sank um 4 Prozent auf 33 US\$/MWh
- Offshore-Wind um 3 Prozent auf 78 US\$/MWh

Batteriespeicher in Deutschland

Speicher im Übertragungs- und Verteilernetz

Die angekündigten Investitionen in Batteriekapazität übersteigt selbst die kühnsten Erwartungen, auch wenn nicht alle Vorhaben realisiert werden

Netzebene	Anfragen (Anzahl)	Beantragte Leistung (GW)	Zusagen (Anzahl)	Zugesagte Leistung (GW)	Zugesagte Kapazität (GWh)
Verteilernetz (VNB)	17.775	406,8	1429	16,8	59,2
Übertragungs netz (ÜNB)	383	166,7	39	17,2	39,6
Gesamtnetz	18.158	573,5	1468	33,9	98,8

Im Jahr 2025 neu bei den
Netzbetreibern eingegangenen
Anfragen.

Quelle: <https://www.smard.de> (BNetzA)

- Insgesamt wurde bis zum 1. April 2026 auf insgesamt fast 80 Gigawatt Leistung und fast 200 Gigawattstunden Speicherkapazität genehmigt.
- Zum Vergleich: Das Wirtschaftsministerium unter dem Grünen Robert Habeck prognostizierte noch im Frühjahr 2024 Großspeicher mit 43 bis 54 Gigawatt Leistung – für das Jahr 2045!

Werden all die Speicher mit bereits erteilten Anschlusszusagen gebaut, übersteigt ihre theoretisch mögliche Gesamtleistung die maximale Last, die es im deutschen Stromnetz derzeit gibt (ca. 75 Gigawatt Spitzenlast).

Batteriespeicher

Neue Zellchemie

Natrium-Ionen-Batterien auf dem Weg in den Massenmarkt

Eigenschaften

- Temperaturbereich: - 40 °C (90%) bis + 70 °C
- Kosten: Die Rohstoffbasis liegt 30 bis 40 Prozent unter LFP, die fertige Zelle 2026 noch nicht. Analysten erwarten den Gleichstand um 2027/2028
- Anodenstromsammler kann aus Aluminium statt aus Kupfer gefertigt werden → Kostenvorteil.
- Natrium-Ionen-Batterien lassen sich auf denselben Fertigungslinien herstellen wie Lithium-Ionen-Zellen.
- Energiedichte:
175 Wh/kg bei CATLs Naxtra-Zelle.
LFP liegt mit rund 185 Wh/kg darüber
Die besten Lithium-Ionen-Zellen mit 260 Wh/kg darüber
- Hersteller: CATL, BYD, HiNa (China), Phenogy (Schweiz, Deutschland), Peak Energy, Natron Energy (USA)
- Der 60-GWh-Auftrag, den CATL im April 2026 abschloss, ist der bislang größte Natrium-Auftrag weltweit und ein Signal, dass die Massenfertigung beginnt.



Batteriespeicher

Rost gegen die Dunkelflaute

In den Niederlanden entsteht Europas größte Eisen-Luft-Batterie



Quelle: <https://www.ingenieur.de/>, Foto: Ore Energy

Eckdaten

- Kapazität 1 GWh
- Fertigstellung 2028
- Betreiber: Stromanbieter Budget Thuis
- Entladen: Das Eisen reagiert mit Sauerstoff aus der Luft zu Rost. Dabei wird Strom frei – die Zelle „atmet ein“.
- Laden: Zugeführter Strom verwandelt den Rost zurück in metallisches Eisen, der Sauerstoff wird wieder abgegeben – die Zelle „atmet aus“.

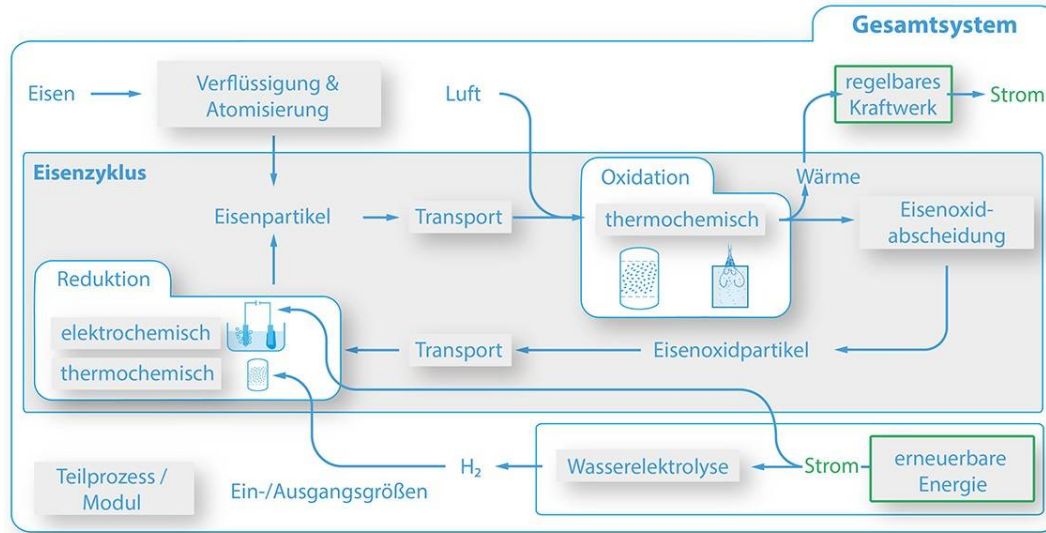
Zum Vergleich:

- Lithium deckt Stunden ab, Eisen- Luft Tage, Wasserstoff Wochen bis Monate.

Eisen als Energieträger

Eisen statt Kohle verfeuern – umweltfreundlich!

TU Darmstadt, Max-Planck-Institut für Eisenforschung und TU Eindhoven forschen



Eisenstaubflamme im Labormaßstab.

Quelle: <https://www.tu-darmstadt.de>



Grundlagen

- Eisen verbrennt wie Kohle in Staubform und lässt sich als Energiequelle nutzen – CO₂-neutral.
- Geschlossener Kreislauf für Eisen
- Forschungsstadium: Herausforderungen durch Verdampfung und bei Partikelgröße
- Erste Umrüstungen von Kohlekraftwerken werden für 2030 erwartet.
- Demonstrationskraftwerk in Darmstadt
- **Langzeitspeicher möglich!**

Thermische Energiespeicher

Solarthermisches Versuchskraftwerk mit drehbaren Spiegeln

Träger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).



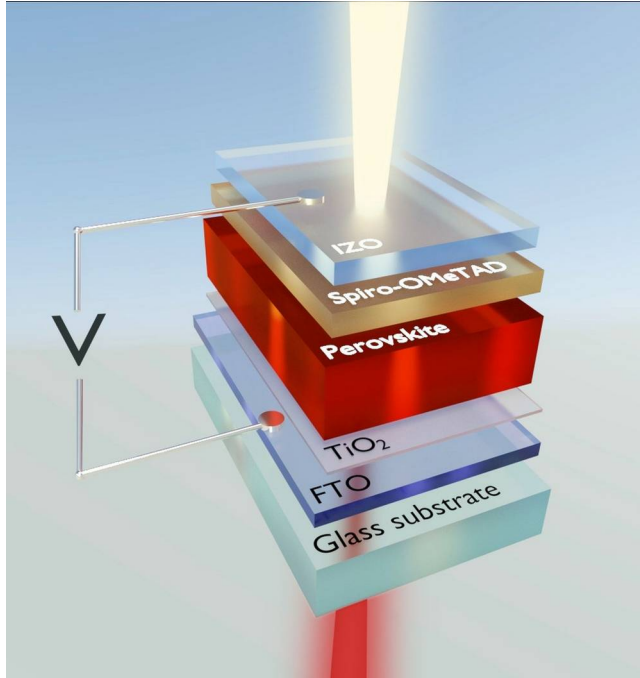
Eckdaten

- Bau: 2008
- Fläche: Ca. 8ha
- 2153 Spiegel
- Konzentration des Sonnenlichtes Faktor 1000
- Erwärmung von keramischen Elementen und dann von Luft auf ca. 700°C
- Erprobung der Wärmespeicherung in verschiedenen Materialien (z.B. Salz, Sand) und Energieabgabe über Nacht
- DryHy-Projekt zur Erzeugung von Methan mittels Direct Air Capture, also CO₂ und Wasser aus der Luft

Neue Solarzellen

Perowskit-Silizium-Zellen

Eine drastische Steigerung des Wirkungsgrad wird möglich



Quelle: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solarzelle/perowskit-solarzellen>
<https://www.ingenieur.de/>

Beispiel-Schichtaufbau

- IZO (Indium-Zinkoxid) = obere Elektrode
- Spiro-OMeTAD = Lochleiter
- Perowskit = Absorber
- TiO₂ (Titan(IV)-oxid) = Elektronenleiter
- FTO (Fluor-dotiertes Zinnoxid) = untere Elektrode

Kombinationen

- Perowskit-Silizium-Solarzellen
- Perowskit-Perowskit-Solarzellen
- Perowskit-CIGS-Solarzellen

Eigenschaften

- Perowskit ist ein Material mit einer speziellen Kristallstruktur
- Verschiedene chemische Konstellationen möglich
- Nutzt anderen Teil des Lichtspektrums, als Silizium
- Perowskit-Solarzellen haben Wirkungsgrade bis fast 34 % erreicht
- Noch Entwicklungsbedarf bezgl. Haltbarkeit und Kosten → 2028
- Der theoretisch maximale Wirkungsgrad von klassischen Siliziumzellen liegt bei 29,3 %
- Beide Techniken lassen sich kombinieren (47,6% im Labor)

Nutzbare Flächen

Agrivoltaik: Die doppelte Revolution – Strom ernten, Leben säen!

Platzsparend, mehr Stromertrag in den Morgen- und Nachmittagsstunden, doppelte Flächennutzung: das sind die größten Vorteile vertikal aufgestellter Photovoltaikmodule.



Quelle: <https://www.heise.de>, Bild: Next2Sun

Besonderheiten

- Ausrichtung nach Osten und Westen
- Mehr Stromernte an den Tagesrandzeiten
- Vorrangig für die Landwirtschaft attraktiv
- Teilweise Beschattung sorgt für eine gleichmäßigere Bodenfeuchte
- Sommerzucchini und Paprika auf den teilbeschatteten Flächen zeigen sogar bessere Erträge als auf den Kontrollparzellen.
- Geringere Parasitenbelastung bei Schafen
- Solarzellen bieten den Bäumen Schutz vor extremen Wetterbedingungen wie intensiver Sonneneinstrahlung und Hagel
- Im Winter kein Schnee auf den Panels

Wasserkraft

Strömung als Energiequelle

Die permanente Energie lässt sich wirtschaftlich nutzen, auch wenn die Wartung schwimmender Anlagen aufwändig ist.



Magallanes Renovables - Nemmo
EU Projekt: >2MW, <0,15€/kWh

Sea Turtle Tidal Park Korea

Beispiele

- La Rance, Frankreich, seit 1967, 240WM Spitze, führte zu Verlandungen und beeinträchtigte die lokale Fauna
- Schottland, Orkney-Inseln 2016, größtes schwimmendes Kraftwerk, 2MW, Kommerzialisierung als Multi-MW Netzwerk geplant
- Mutriku, Spanien: Wellenkraftwerk, oszillierende Wassersäule, 300kW
- Kleinstkraftwerke für Flüsse

Quelle: <https://erneuerbare-energien-aktuell.de>

Windkraft

Quo vadis?

Niemand investiert mehr in deutsche Offshore-Windkraftanlagen



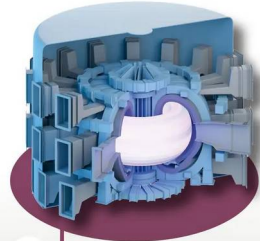
Beispiele

- Auf die 2025 erfolgte Ausschreibung für Offshore-Windflächen in der Nordsee gab es keine Gebote.
- On-shore Windkraftanlagen sind noch profitabel
- Die erste Generation der Anlagen wird bereits durch größere Neuanlagen ersetzt
- Der Bundeskanzler sieht Windkraft als Übergangstechnologie und setzt auf Fusionskraftwerke

Kernfusion

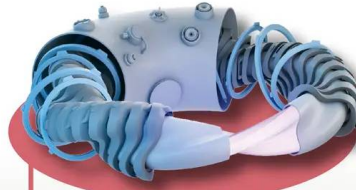
Die Konzepte (Auswahl)

Dauerbetrieb versus Pulsbetrieb



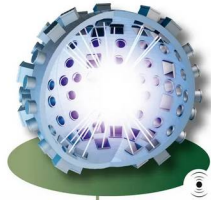
TOKAMAK

Die staatlich finanzierten Anlagen JT-60U, Asdex Upgrade (ein Projekt der MPG) oder Iter (im Bau) schließen Plasma mit einem äußeren Magnetfeld in einer donutförmigen Kammer ein und heizen es von außen.



ADVANCED STELLARATOR

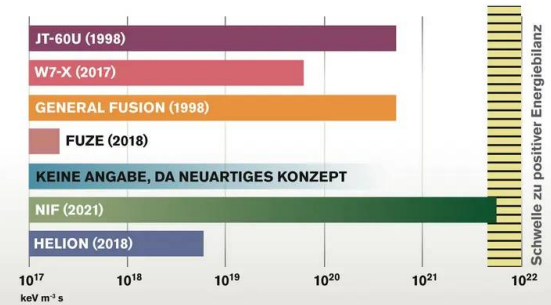
Ein gewundenes Magnetfeld schließt das Plasma im ebenso geformten Plasmagefäß etwa von Wendelstein 7-X ein. Die Heizung erfolgt von außen.



LASER-FUSION

Starke Laser verdichten und heizen Plasma im Zentrum. Beim indirekten Antrieb lösen die Laser in einer Metallkugel Röntgenstrahlung aus, die den Brennstoff darin aufheizt und komprimiert. So erzeugte die US-Forschungseinrichtung NIF mehr Fusionsenergie, als Laserenergie investiert wurde. Sie erforscht damit seit Jahrzehnten die Prozesse einer Wasserstoffbombe. Beim direkten Antrieb wird dazu eine Kapsel mit dem Brennstoff direkt beschossen und zur Implosion gebracht.

TRIPLEPRODUKT



Quelle: US-Department of Energy; doi: 10.1063/5.0083990

- An diversen Konzepten zur Fusion wird seit Jahrzehnten geforscht. Die technischen Hürden sind hoch, Forschungsgelder im Milliardenbereich werden eingesetzt
- Das Tripelprodukt aus Plasmadichte, Temperatur und der Zeit, über die die Temperatur ohne Heizung aufrechterhalten bliebe ist ein Indikator für die technische Reife
- Ein erstes Fusionskraftwerk in den 2030er-Jahren erwartet

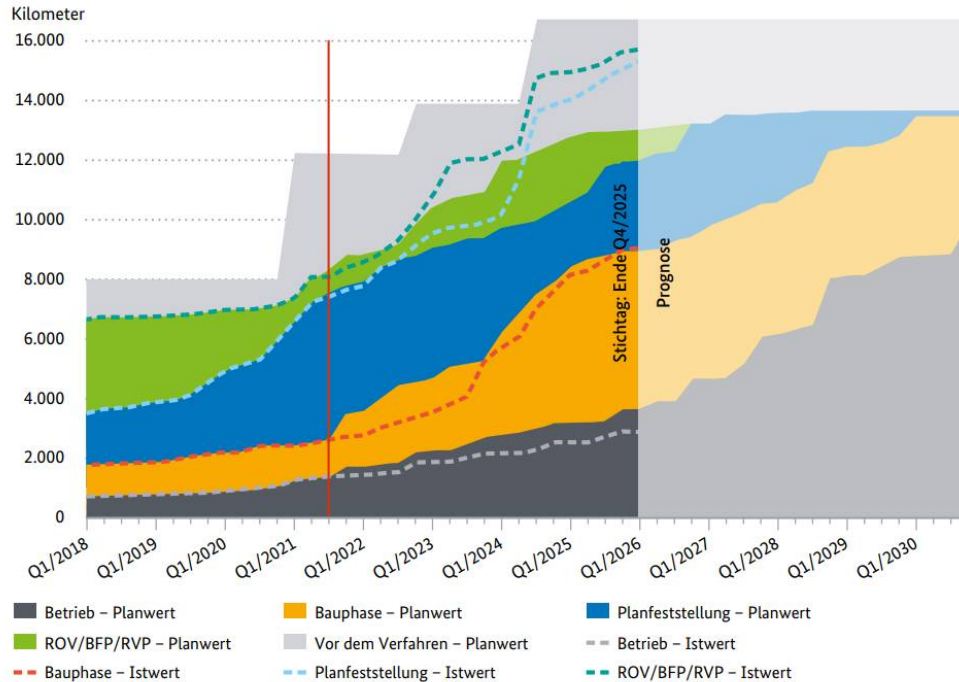
Quelle: <https://www.mpg.de/22495247/wege-zum-fusionskraftwerk?c=17091614>

Netzpolitik

Quo vadis?

Die Energiepolitik in Deutschland ist ein schwieriges Thema und bremst unsere Wirtschaftsentwicklung aus.

Abbildung 3: Fortschritt beim Netzausbau der BBPlG- und EnLAG-Vorhaben



Quelle: BMW-Controlling (Stand: Q4/2025)

Beispiele

- Massive Änderungen am EEG führten 2012 zur Schwächung der Solarindustrie in Deutschland. China übernahm die Führung.
- Der Ausbau der Energietrassen wird durch überbordende Regulierungen zum Possenspiel
- Die EEG Novelle 2027 halbiert die Einspeisemöglichkeiten für gespeicherte Energie. Die Kappung – das Detail ist wichtig – gilt für den „Netzverknüpfungspunkt“ des Haushalts, sprich: für alle Geräte (PV-Anlage, Batteriespeicher, Wallbox), die über den Anschlusspunkt ans Stromnetz angebunden sind.

Auch für zwischengespeicherten Strom gelte bald die 50-Prozent-Kappung. Auch bidirektionales Laden per E-Auto wäre betroffen.

- Geht die Novelle mit diesen Eckdaten durch den Bundestag, so ist der Ausbau der Batterienetzwerke fraglich.