

- **Strom $\leftrightarrow$ Wärme** **Faktor 3** bei Umwandlung
 - Wärme $\rightarrow$ Strom: 3 $\rightarrow$ 1 3 kWh Wärme $\rightarrow$ 1 kWh Strom Kohlekraftwerk [Wikipedia](#).
 - Strom $\rightarrow$ Wärme: 1 $\rightarrow$ 3 1 kWh Strom $\rightarrow$ 3 kWh Wärme Wärme-Pumpe [Wikipedia](#) = <https://de.wikipedia.org/wiki/Wärmepumpe>, [Netzbegründung](#).

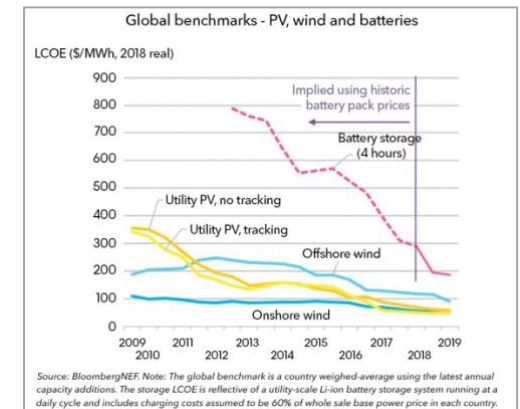
- **Verbrauch**

- **Deutschland**
 - Endenergieverbrauch: **2.500 TWh/a** = 9.056 PJ, [AGEB](#).
 - Primärenergieverbrauch: 3.550 TWh/a 14,8% = 527 TWh aus regenerativen Quellen, 78% = 2.697 TWh aus Verbrennung [Energieflußbild 2020-09, AGEB](#).
- **Bayern**
 - **383 TWh** = 1.380 PJ **Endenergieverbrauch**. Darin Strom **77,3 TWh** = 278 PJ.
 - **Strom**
 - **77,3 TWh Endenergieverbrauch** = 67,7 in Bayern erzeugt + 9,6 Import
 - **83,5 TWh Bruttoverbrauch** = 73,9 in Bayern erzeugt + 9,6 Import
 - [StMWiBay](#). Öko-Institut Freiburg. Import = AustauschSaldo
 - **Wärme, erneuerbar**
 - 40 TWh = 148.000 PJ, darin 35 TWh = 130.000 PJ Biomasse, meist Holz
 - [LänderArbeitskreis Energiebilanzen, Bayern 2017 EB-1, StMWiBay / 13](#).
- **CO₂ – Erzeugung je Einwohner in t/a:** **DE 10**, USA 20, RU 14, CN 10, EU 10 BR2, 2021-04

Strom	Endenergie-Verbrauch		Brutto-Verbrauch	
	TWh	%	TWh	%
Erneuerbare	33,5	49%	36,5	49%
Kernenergie	20,6	30%	22,5	30%
Erdgas	9,5	14%	10,4	14%
Kohle, Öl	4,1	6%	4,5	6%
Erzeugt in Bayern	67,7	100%	73,9	100%
Import Austauschsaldo	9,6		9,6	
Summe	77,3	= 278 PJ	83,5	

- **Strom-Erzeugung** Reihenfolge nach Bedeutung für die „Durchschnitts-Bevölkerung“ Kosten-Übersicht $\rightarrow$ [Quarks](#)
 - Holz
 - Kosten: 6 ct/kWh für Holz + 3 ct/kWh Anlagenkosten selbst geschätzt = **9 ct/kWh**
 - 50 €/fm Brennholz [Internet](#). / 600 kg/fm = 8 ct/kg / 4,2 kWh/kg = 2 ct/kWh Wärme-Energie * 3 = **6 ct/kWh Strom**.
 - Brennwert Holz = 4,2 kWh/kg. Je 50% Hart- und Weichholz: 600 kg/m³. 14.000 kJ/kg = 3,9 kWh [StMWiBay](#). $\rightarrow$ 4 kWh/kg.
 - Brennwert 7.000 kg Holz = 3.000 l Öl [TFZ Bayern](#).
 - Umweltkosten: 20% von 6 ct/kWh für Bearbeitung, Transport ... [WikiPrimärenergie](#) = **1 ct/kWh**
 - Wald-Fläche: 1 ha erzeugt 30 MWh/ha*a Wärme /3 = **10 MWh/ha*a Strom** $\rightarrow$ **100.000 ha/TWh*a**
 - 400 Vfm/ha [Wikipedia](#). * 500 kg/fm = 200.000 kg/ha / 25 Jahre = 8.000 kg/ha*a * 4,2 kWh/kg = 33.600 kWh/ha*a
 - 12 fm/a*ha [TFZ Bayern](#). * 600 kg/fm = 6.000 kg/ha*a. 6.700 kg/a (1/3 Hart- + 2/3 Weichholz) [TFZ Bayern](#). * 4,2 kWh/kg = 28.000 kWh/ha*a
 - PV
 - Kosten: 6 ct/kWh [Wikipedia](#). **7 ct/kWh** [WikiFraunhofer](#).
 - Freifläche 140 GWh / 240 ha = 600 MWh/ha*a [Neuhardenberg](#). $\rightarrow$ **1.700 ha/TWh*a**. ähnlich **1.900 ha/TWh*a** $\rightarrow$ 520.000 kWh/ha*a [Enertrag](#).
 - 6 m²/kWp [Wikipedia](#). 1.500 kWp/ha 1.500 MWh/a. 180 MWp auf 164 ha = 1 MWp/ha = 1.000 MWh/ha*a.
 - CO₂: 30 g/kWh [Wikipedia](#).
 - Wind
 - 3 MW-Turbine erzeugt 6.000 MWh/a Strom. **8 ct/kWh** [WikiFraunhofer](#).
 - 0,2 ha = 50 m Kreisfläche während der 20 Jahre Betrieb (in der Bauphase 0,26 ha [EnergieAtlas](#)). 0,2 ha / 0,006 TWh $\rightarrow$ **34 ha/TWh*a**
 - CO₂: 10 g/kWh [Wikipedia](#).

- Kohle
 - Kosten: $8 + 20 = 28 \text{ ct/kWh}$ [Quarks](#) 5,2 ct/kWh [Wikipedia](#). + Umwelt = 15 ct/kWh [Wiki / Externe Kosten](#).
 - Braunkohle Umweltkosten 150 TWh in 2016 erzeugt. 15 Mrd€/a in DE in 2015. $15.000.000.000 \text{ €} / 150.000.000.000 \text{ kWh} = 10 \text{ ct/kWh}$.
 - CO₂: 1 kg/kWh [Wikipedia](#). ? ha verwüstet durch Tagebau
- Gas
 - 1 MMBtu = 0,3 MWh [Wikipedia](#). * 6 €/MMBtu [Wikipedia](#) = 2 ct/kWh Wärme * 3 = 6 ct/kWh Strom. + 5 ct/kWh [Wiki / Externe Kosten](#). = 11 ct/kWh.
 - Heizwert = 35 MJ/m³ = 40 MJ/kg [StmWiBay](#) / Heizwerte.
 - CO₂: 0,4 kg/kWh [Wikipedia](#).
- Öl
 - 6 ct/kWh Strom selbst geschätzt + Umweltkosten 12 ct/kWh 8 ct/kWh in 2010 [Umweltbundesamt](#). = 12 ct/kWh.
 - Heizwert = 43 MJ/kg. Brennwert 1 l Öl = 2,4 kg Brennholz
 - CO₂: zwischen Kohle und Gas [Wikipedia](#). → 0,7 kg/kWh selbst geschätzt.
- Biomasse
 - 10 ct/kWh Erzeugung ? ct/kWh + Umweltkosten 4 ct/kWh [Umweltbundesamt](#).
 - Mais-Trockenmasse 15 t/ha*a → 106 m³/a Methan → 16 MWh/ha*a [LwHeute](#). 0,06 ha/MWh*a = 60.000 ha/TWh*a
 - Menge Mais: 45.000 kg/ha*a [TopAgrar](#). Maissilage 400 dt/ha*a = 40.000 kg/ha*a [DMK](#). kWh/kg Mais?
 - 0,4 ha → 1 kW [agrarweb](#). 365 Tage * 24h = 8.760 h/a 0,4 ha = 8,76 MWh. 0,046 ha/MWh = 46.000 ha/TWh*a.
 - Raps: 5.000 kWh/ha*a = 200.000 ha/TWh*a [Enertrag](#).
 - Bioenergie [Wiki BioEnergie](#). Kraft-Wärme-Kopplung. 10 ct/kWh als Mittelwert aus Grundvergütung + 3 * Bonus. → [Wikipedia](#). 9,4 ct/kWh [LwHeute](#).
- Atom
 - Stromgestehungskosten 13 ct/kWh [Quarks](#) + Externe Kosten 20 ct/kWh [Wiki / Externe Kosten](#). + Ausstieg, Unfallversicherung ? = 35 ct/kWh
 - Gesamt-Betrachtung → Video [Quarks](#). 50 ct/kWh Vollkosten, incl. Unfall-Versicherung Umweltminister Rötgen.
 - CO₂: 12 g/kWh [UBA](#). = 12.000 t/TWh ~10.000 t/TWh
- Wasser
 - kaum noch erweiterbar
- Kosten-Entwicklung:
 - Die obigen Kosten bei PV und Wind, sowie bei Speichern werden weiter sinken [Bloomberg](#) → →



• Speicher

- Wasser-Pumpspeicher
- Blei (Pb)-Akku
- LiPo-Akku
- Wasserstoff
 - H₂ als Energie-Speicher sowie der Energie-Transport im bestehenden Erdgas-Netz wäre extrem günstig [Siemens](#), jedoch:
 - Wasserstoff kostet derzeit jedoch 10 mal mehr je kWh als Erdgas ohne Umweltkosten.
 - Wasserstoff: 10 €/kg [ElektroAuto](#) 2021-01. 2 €/kg aus Erdgas, 6 €/kg aus Elektrolyse [FAZ](#). → Mittelwert 5 €/kg. / 33 kWh/kg = 15 ct/kWh.
 - Erdgas: An der Börse: 2 €/MMBTU [Finanzen](#). 1 MMBTU = 300 kWh. → 0,7 ~1 ct/kWh. Als Endverbraucher: 10 ct/kWh.
 - Strom → H₂ mittels Elektrolyse: 70%.
 - H₂ → Strom mittels Brennstoffzellen: 60% [Enertrag](#). Mehr → [DLR](#), [DLR1](#).
 - Anschaffungskosten: Speicher 10 €/kWh [Enertrag](#) + Elektrolyse + Brennstoffzelle 90 €/kWh (selbst geschätzt) = 100 €/kWh
- Redox-Flow-Batterie: 45 €/kWh [CleanTech](#). 100 €/kWh, 90% [Wikipedia](#). RedoxWind 20 MWh [FraunhoferICT](#).
 - [JenaBatteries](#): Kosten <300 €/kWh <1.200 €/kW Wirkungsgrad >70% Webinar JenaBatteries Dr.Conrad 02.03.2021.
 - Gewählte Mittelwerte: 200 €/kWh Wirkungsgrad 80%
- Flüssig-Metall-Batterie

Einmal-„Speicher“:

- Energie ist z.B. in einem Kohlehaufen gespeichert und kann zu einem beliebigen Zeitpunkt entnommen werden (Winter ...). Nicht wiederaufladbar.
- Kohle, Öl, Erdgas, Holz, Biomasse.
- Das „Speichern“ = Lagern ist praktisch verlustfrei und die Lager-Kosten (z.B. Fläche) sind vernachlässigbar. Daher sind diese „Speicher“ nicht in der Tabelle.

Kenn-Größen

- Speicherdaten [Enertrag](#) → →
- Zyklenzahl: dann hat Speicher nur noch 80% (50% ...) seiner Nenngroße meine Definitions-Vermutung.
- Einmal-Invest: €/kWh.
- Verluste:
Einspeisung des Stroms zu Zeiten, in denen dieser eher im Überfluß da ist und somit billig.
Annahme: 5 ct/kWh

Speicher bei 293 K	Energie-dichte, kWh/kg	Dichte, kg/dm ³	Energie-dichte, kWh/m ³	Preis pro Kapazität, €/kWh	Zyklenzahl	Lebens- dauer, Jahre	Wirkungs- grad
Superkondensatoren	0,01	2	10	50.000	500.000	30	100%
Schwungradspeicher	0,14	8	1.000	1500	1.000.000	30	99%
Akkumulatoren (Pb)	0,03	3,3	100	100	500	7	65%
Akkumulatoren (Li)	0,18	1,6	281	200	6.000	20	90%
Pumpspeicher, 250 m Fallhöhe	0,0006	1	0,6	150	18.250	50	80%
Druckluftspeicher, 60 bar, 150 MW	0,03	0,072	2	27	14.600	40	70%
Wasserstoff, 40 bar	33,3	0,003	98	9	18.250	50	100%
Wasserstoff, 300 bar	33,3	0,022	733	15	18.250	50	100%
Wasserstoff, 700 bar	33,3	0,04	1.332	30	18.250	50	100%
Wasserstoff im Erdgasnetz, 60 bar	33,3	0,006	193	1	36.500	100	100%

• Kennzahlen

- CO₂ **t/TWh** Tonnen CO₂ für die Erzeugung einer TWh Energie.
Gerundet auf 100.000 t/TWh bzw. 0,1 kg/kWh. Daher wird bei PV (0,03), Wind (0,01) und Atom (0,01 kg/kWh) eine 0 angezeigt.
- Fläche **ha** „verlorene“ Waldfläche. EU als Waldzerstörer [WWF / ARD-Bericht](#).
- Kosten **ct / kWh** Vollkosten / Energie-Menge über die Standard-Laufzeit. Entwicklung bis einschließlich endgültiger Entsorgung.
- Energie
 - 1 **TWh** = 1.000 GWh = 1.000.000 MWh = 1.000.000.000 kWh
 - 1 **PJ** = 1.000 TJ = 1.000.000 GJ = 1.000.000.000 MJ = 280.000.000 kWh = 0,28 = 1/3,6 **TWh**
 - 1 J = 1 Ws 1 kWh = 3.600 kWs = 3.600.000 Ws = 3.600 kJ = 3,6 MJ