

Klimawandel Nachgerechnet 8

Energiespeicher

Prof. Dr.-Ing.Gerald Schuller

UN 2030 Klimaziele:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/#:~:text=be%20decreasing%20and-,need%20to%20be%20cut%2>

- "Um die globale Erwärmung auf 1,5 ° C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, müssen die CO2 Emissionen bereits 2030 um fast die Hälfte reduziert werden."

Ziel: Eine Wirtschaft und Technik ohne fossile Energie.

Ausblick bis 2030

- Frage: Was passiert, wenn es dunkel ist und wir nicht genug Wind haben?
- Konventionelle Antwort: Wir brauchen **Gas-Kraftwerke**, die bei Bedarf schnell hoch und herunter gefahren werden können.
 - Aber das sind wieder fossiler Brennstoffe.
- Bessere Antwort: Wir brauchen **Stromspeicher**, die sogar nochmal um Größenordnungen schneller hoch und herunter gefahren werden können.
 - Aber ist das machbar?

Für erneuerbare Energien ist eine Speicherung erforderlich

- "Installierte Leistung in Deutschland (2021): ca. 750 MWh
- gesamter Speicherbedarf in Deutschland bis **2030: 104 GWh**, bis 2045: 180 GWh, davon können **Batterie-Großspeicher einen erheblichen Anteil abdecken**"

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/stationaere-batteriespeicher/grossspeicher.html#:~:text=Installierte%20Leistung%20>

Levelized Cost of Storage (LCOs):

Paper: "Projecting the Future Levelized Cost of Electricity Storage Technologies", Januar 2019:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243511830583X#:~:text=The%20equation%20incorporates%20all%](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243511830583X#:~:text=The%20equation%20incorporates%20all%20costs%20of%20storage%20technology%20and%20the%20levelized%20cost%20of%20storage%20(LCOE)%20is%20calculated%20as%20the%20total%20cost%20of%20ownership%20(TCO)%20divided%20by%20the%20total%20energy%20output%20over%20the%20lifetime%20of%20the%20storage%20technology%20(LCOE)=TCO/Total%20Energy%20Output)

"Gesamtlebensdauerkosten für die Investition in eine Stromspeichertechnologie geteilt durch ihre kumulative gelieferte Elektrizität."

Dies schließt den Preis für den gespeicherten Strom ein. Daher ist dies der Preis, mit dem ein Speicherbesitzer die Elektrizität verkaufen könnte, ohne Gewinn zu erzielen.

Highlights:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243511830583X#:~:text=The%20equation%20incorporates%20all%20costs%20of%20storage%20technology%20and%20the%20levelized%20cost%20of%20storage%20\(LCOE\)%20is%20calculated%20as%20the%20total%20cost%20of%20ownership%20\(TCO\)%20divided%20by%20the%20total%20energy%20output%20over%20the%20lifetime%20of%20the%20storage%20technology%20\(LCOE\)=TCO/Total%20Energy%20Output](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243511830583X#:~:text=The%20equation%20incorporates%20all%20costs%20of%20storage%20technology%20and%20the%20levelized%20cost%20of%20storage%20(LCOE)%20is%20calculated%20as%20the%20total%20cost%20of%20ownership%20(TCO)%20divided%20by%20the%20total%20energy%20output%20over%20the%20lifetime%20of%20the%20storage%20technology%20(LCOE)=TCO/Total%20Energy%20Output)

- Lebensdauerkosten für 9 Speichertechnologien in 12 Anwendungen von 2015 bis 2050
- Die niedrigsten Lebensdauerkosten sinken um 36% (2030) und 53% (2050) in den 12 Anwendungen
- **Lithium-Ionen-Batterien sind in den meisten Anwendungen von 2030 an wettbewerbsfähig**
- Pumpspeicher, Druckluft und Wasserstoff eignen sich am besten für lange Entladungsanwendungen

Kosten in Cent/kWh oder \$/Mwh

```
In [ ]: !wget https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S254243511830583X-gr1_lrg.jpg
```

```
--2023-09-12 15:28:49-- https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S254243511830583X-gr1_lrg.jpg
Resolving ars.els-cdn.com (ars.els-cdn.com)... 104.18.32.42, 172.64.155.214, 2606:4700:4400::6812:202a, ...
Connecting to ars.els-cdn.com (ars.els-cdn.com)|104.18.32.42|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 420495 (411K) [image/jpeg]
Saving to: '1-s2.0-S254243511830583X-gr1_lrg.jpg.2'

1-s2.0-S25424351183 100%[=====>] 410.64K  --.-KB/s    in
0.02s

2023-09-12 15:28:49 (17.6 MB/s) - '1-s2.0-S254243511830583X-gr1_lrg.jpg.2' saved [420495/420495]
```

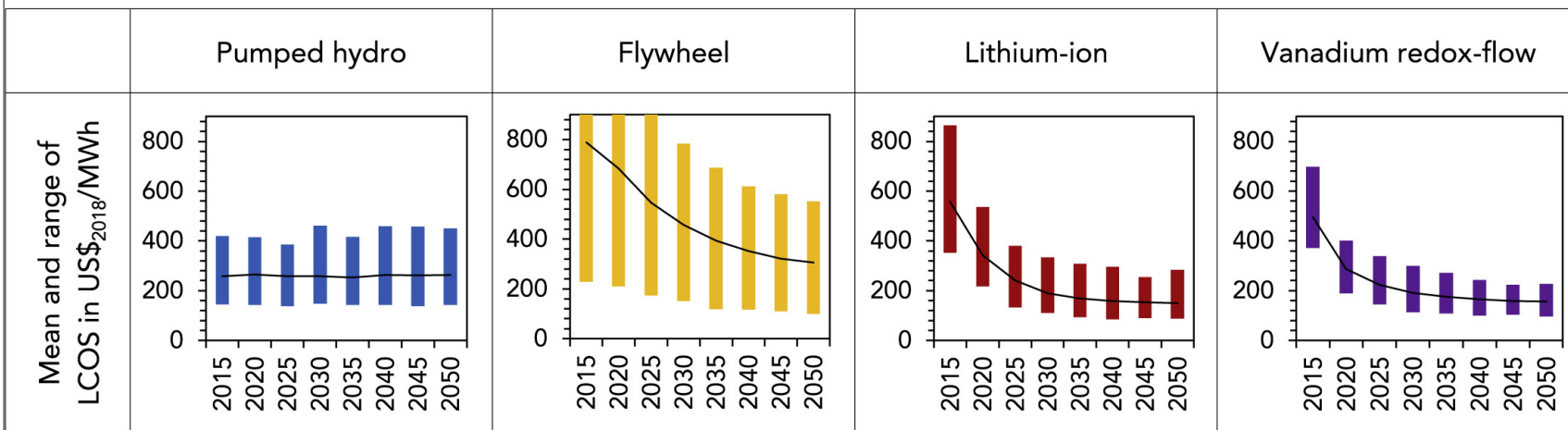
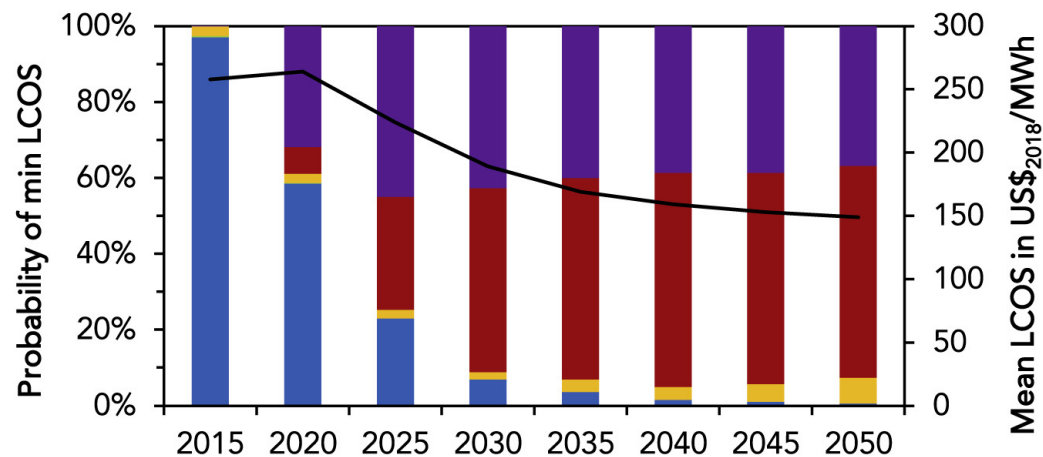


```
In [ ]: #!/pip install Pillow  
        from PIL import Image  
im = Image.open("1-s2.0-S254243511830583X-gr1_lrg.jpg")  
display(im)
```

Requirement already satisfied: Pillow in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (9.4.0)

③ Secondary Response

Power capacity	100 MW
Discharge duration	1 hour
Annual cycles	1,000
Response time	>10 seconds
Electricity price	50 \$/MWh _{el}



<PIL.JpegImagePlugin.JpegImageFile image mode=RGB size=2208x1229 at 0x7C0403D53B80>

1 \$/mwh = 100 Cent/1000kwh = 0,1 Cent/kwh

- Angenommene **Stromkosten**: 50 \$/Mwh, **5 Cent/kWh** (Produzentpreis)

nach 2025:

- Li-Ionenspeicher unter 200 \$/MWh = 20 Cent/kWh
- Pumpspeicher: 259 \$/MWh = 25,9 Cent/kWh
- Schwungrad: 440 \$/MWh = 44 Cent/kWh

Ähnlich in <https://www.storage-lab.com/levelized-cost-of-storage>

Abbildung 1.

Ergebnis

- Wir sehen: **Lithium-Ionen-Batterien** gehören zu der günstigsten Speicheroption.
- Kosten für Speicherung nähert sich **15c/ kWh**

Beispiel: Tesla Megapack:

<https://electrek.co/2023/04/19/tesla-reports-massive-increase-energy-storage-deployment-thanks-megafactory/>

- "sollen 40 GWh jährliche Produktionskapazität erreichen."
- "Viele weitere Megafaktoren sollen kommen", z.in Shanghai.
- D.h. eine Megafactory mit 40 GWh jährlicher Produktion könnte den gesamten Speicherbedarf in Deutschland bis 2030 von 104 GWh in nur etwa 2,6 Jahren abdecken!

Megapack -Bestellung: <https://www.tesla.com/megapack/design>

- 19.3 Mwh,
- \$ 9.972.420, einschließlich Installation,
- Das sind **517 \$/kWh**.
- Geschätzte jährliche Wartung \$ 29.610 (vernachlässigbar im Vergleich zum Kaufpreis)

Wie lange lebt der Akku?

Anzahl der äquivalenten vollständigen Ladezyklen für Lithium-Ionen-Batterien

Dissertation „Aging of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles“, Dipl.-
ing.Univ.Peter Keil (ab 2016), für 18650 Batterien (Tesla),

<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1355829/file.pdf>

- Seite 127: Abschnitt 6.5.4, langfristige Lade/Entlade-Zyklen bei 25 ° C,
Abbildung 88 links:

Nach 2000 äquivalenten Vollständigen Zyklen meist immer noch mehr als
80% Kapazität.

- D.h. nach einer angenommenen Lebensdauer von $3 * 2000 = 6000$
Zyklen ist $0.8^3 = 0.51 = 51\%$ Kapazität übrig.

Speicherkosten für den Tesla Megapack mit 6000 Zyklen

- Lade-/Entlade-Effizienz von Lithium-Ionen-Batterien: Ca.85-95%, was bedeutet, dass etwa 10% der Stromkosten (0,5 ° C/kWh) für die Lagerkosten hinzugefügt werden müssen.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212001368>)

- Mit einer durchschnittlichen Kapazität von 75% (zwischen 100% und 50%) oder $0,75 * 19,3 = 14,475$ MWh führt dies zu einer Speicherkosten (ohne Wartungskosten) von $\$ 9972420 / (6000 * 14475 \text{ kWh}) + 0,5\text{C/kWh} = \mathbf{11,5c/kWh}$
- Dies liegt bereits bei oder unter der für 2030 vorhergesagten Preisspanne!

Levelized Cost of Storage

- Wir addieren den oben genannten angenommenen Strompreis zu den Speicherkosten:
- $11.5 + 5 \text{ c/kWh} = \mathbf{16.5 \text{ c/kWh}}$

Vergleich mit Gas-Kraftwerken

- **https://en.wikipedia.org/wiki/cost_of_electricity_by_source:**
- 2020 (noch vor dem Krieg in der Ukraine): ca.**15-20 c/kWh**
- Diese Preisspanne von 2020 ähnelt der des Speichers (16,5 c/kWh), steigt jedoch wahrscheinlich, im Gegensatz zu den Speicherkosten, die sinken.
- Die Batterien könnten Gas-Kraftwerke ersetzen, in denen sie installiert werden könnten (Beispiel:
<https://www.nsenenergybusiness.com/projects/moss-landing/#>).

Zusammenfassung:

- Elektrische Netzspeicherung mit Batterien kostet vergleichbar oder weniger als Gas-Kraftwerke.
- Die Netzspeicherung mit Batterien ist machbar, relativ billig und die Technologie ist da oder wird bald da sein.
- Die Netzspeicherung ermöglicht somit eine vollständige Dekarbonisierung der Stromerzeugung.
- Es muss nur getan werden.