

Stromspeicher – was sie sind, was sie taugen, was sie kosten!

Einleitung

Aus einer religiösen Laune heraus meint man in Deutschland und ein paar anderen Ländern, dass man den Strom mittels Wind-, oder Sonnenenergie gewinnen müsse. Auf die Problematik der Beliebigkeit der Verfügbarkeit dieser „Energien“ und der damit einhergehenden Nutzlosigkeit des auf diese Weise erzeugten Stroms angesprochen, wird immer wieder die Möglichkeit der Stromspeicherung in den Raum gestellt. In der Tat kann man technisch gesehen über gewisse Umwege Strom speichern. Im konventionellen Bereich wird dies seit vielen Jahrzehnten praktiziert um die Kraftwerke gleichmäßiger auszulasten. Allerdings sucht man dies aus Kosten- und Umweltgründen wann immer möglich zu vermeiden. Bei der Stromspeicherung fallen hohe Kosten an, die teils die Kosten der Stromerzeugung übersteigen. Jede Art von Stromspeicherung hat einen Wirkungsgrad. Es kommt nur ein Bruchteil des Stroms aus dem Speicher den man eingespeist hat.



Foto Stefan, Speichersee

Zusammenfassung

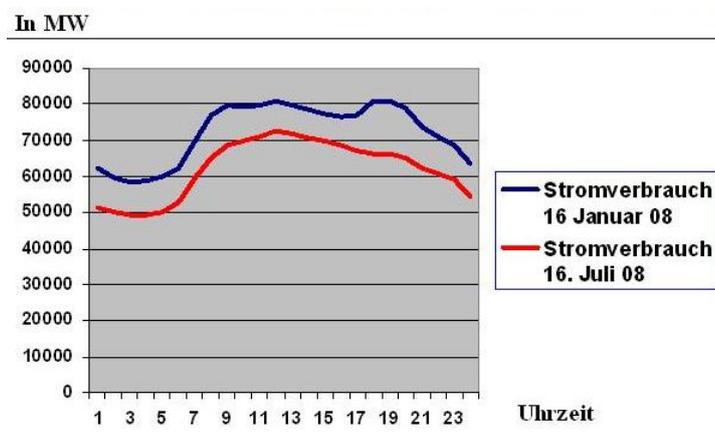
Strom ist der am schwierigsten zu speichernde Energieträger. Deshalb wird Strom üblicherweise über Umwege gespeichert. Die Kosten der Stromspeicherung übertreffen teils die Kosten der Stromerzeugung. Man sucht den Strom

bedarfsgerecht herzustellen. Innovative Kondensatorkonzepte und Schwungräder bieten sich als Kurzzeitspeicher an. Batterien dienen als Notstromspeicher. Pumpspeicherkraftwerke sind als preiswerte Tagesstromspeicher für konventionelle Stromerzeugungssysteme bewährt. Redox Batterien mit externem Speicher und Wasserstoff könnten technisch gesehen als 2-Wochen, oder Monatsspeicher Wind- und Solarenergie nutzbar machen. Allerdings sind die Kosten dieser Speicherung zusammen mit den ohnehin Vielfachen Kosten dieser religiös motivierten „Energieerzeugung“ nur mehr spirituell zu rechtfertigen.

Wenn man eine ohnehin schon umweltschädliche Windstromerzeugung mit einer Wasserstoffspeicherung (*Wirkungsgrad 40%*) kombiniert, kann man mit sehr, sehr großer Wahrscheinlichkeit davon ausgehen das es mehr Energie bedarf derartige Anlagen zu errichten und betreiben als diese je an Energie erzeugen.

1. Strombedarf in Deutschland

Einem Stromnetz muss zu jedem Zeitpunkt soviel Strom zugeführt werden wie verbraucht wird. Der Stromverbrauch schwankt abhängig von der Jahreszeit durch den winterlichen Heiz- und Lichtbedarf. Der Strombedarf ist an Feiertagen niedriger, an Werktagen höher. Der Strombedarf schwankt im Tagesverlauf.



(1)

Der Strombedarf schwankt in einem bedarfsgesteuerten Netz. Die signifikanteste Schwankung ist die Tag-Nacht Schwankung.

Bild 2 in MW (1)

1.1 Stromerzeugung

Der konventionelle Stromerzeugung in Deutschland teilt sich auf in:

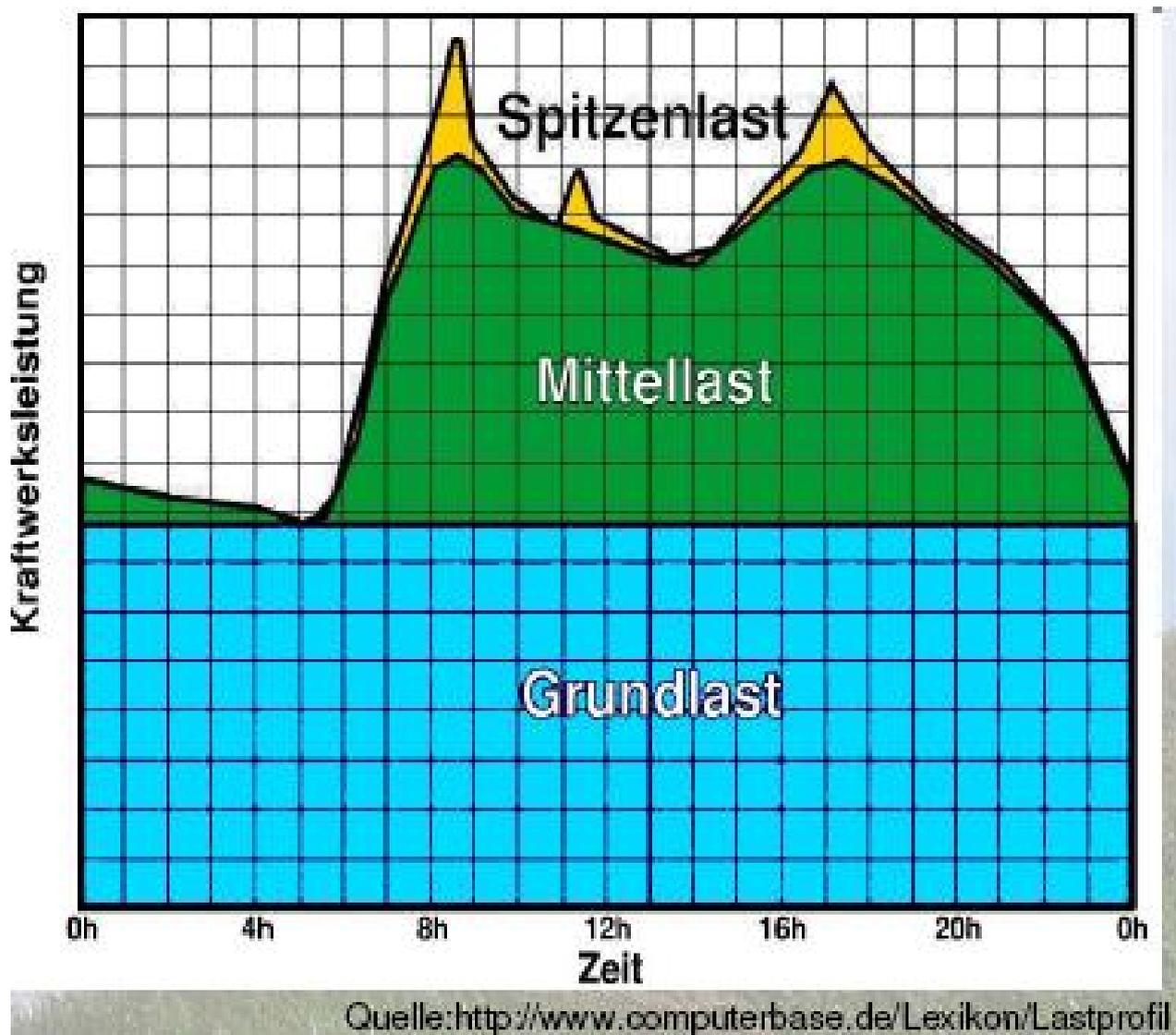


Bild 3

Spitzenlast, Abdeckung auftretender

Lastspitzen. Hierzu eignen sich schnell regelbare Gasturbinen und Speicherkraftwerke

Mittellast, zusätzliche schwankende Erzeugung gem. des auftretenden Bedarfs, überwiegend Kohlekraftwerke.

Grundlast, Durchgehende Erzeugung des ganztägig auftretenden Bedarfs. Ideale Grundlastkraftwerke sind aufgrund niedriger Brennstoffkosten und hoher Baukosten Kernkraftwerke und Braunkohlekraftwerke.

Als Beispiel, Stromeinspeisung eines Kernkraftwerks

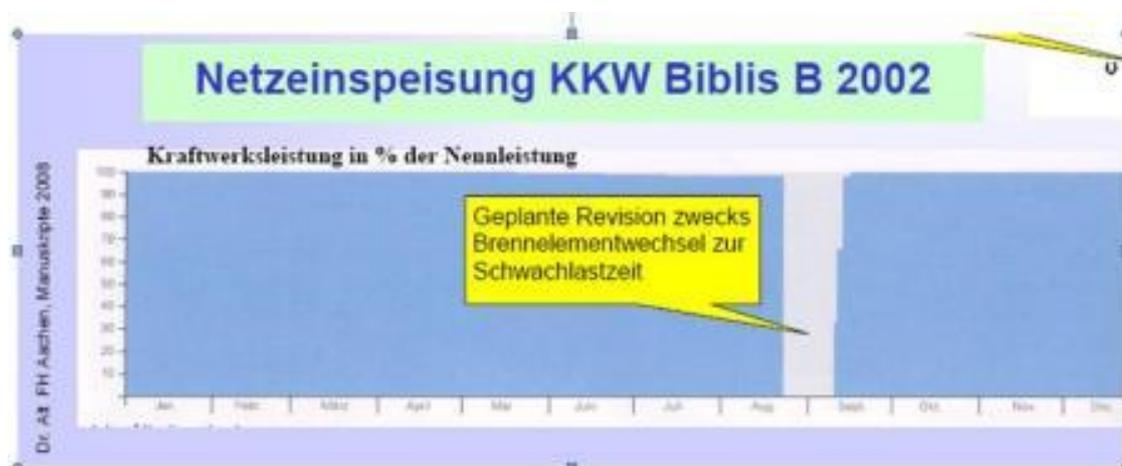


Bild 4

Ein konventionelles Netz bedarf einer „Tagesstromspeicherkapazität“ um die täglichen Lastspitzen abzufangen und die Kraftwerke möglichst gleichmäßig zu betreiben. Auch bei Ausfällen von Kraftwerken, Beispiel die Schnellabschaltung des KKW Krümmel, bedürfen sehr schnell zuschaltbarer Reservekapazitäten.

1.2 Ökostromeinspeisung

Ökostrom fällt unregelmäßig entsprechend den Launen des Wetters an.

Eine Tagesspeicherung des umweltschädlichen Windstroms kann die größten Schwankungen der Windstromeinspeisung eibnen. Um jedoch mittels Windkraft konventionelle Kraftwerke zu ersetzen bedürfte es einer 2-Wochen, oder Monatsspeicherung.



Eine Tagesspeicherung des umweltschädlichen Windstroms kann die größten Schwankungen der Windstromeinspeisung eibnen. Um jedoch mittels Windkraft konventionelle Kraftwerke zu ersetzen bedürfte es einer 2-Wochen, oder Monatsspeicherung.

Bild 5

2. Stromspeicherung

2.1

Kondensatoren n

**In Kondensatoren
wird elektrische
Ladung zwischen
zwei durch ein
Dielektrikum
getrennte
Elektroden**

**gespeichert. Die
gespeicherte
Energie folgt der
Formel:**

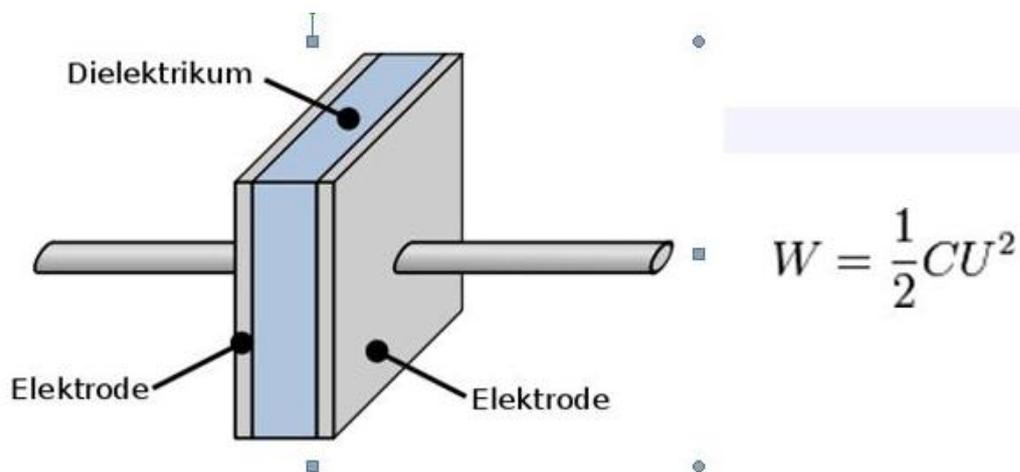


Bild 6

**Bei der Entwicklung
von Kondensatoren**

**als Energiespeicher
geht die
Entwicklung hin zum
Nanokondensator.**

***...Dieses Ziel im
Blick, ätzten die
Forscher Millionen
winziger Löcher in
eine
Aluminiumfolie.***

***Die Wände dieser
nur etwa 50***

***Millionstel
Millimeter breiten
und einige
Mikrometer tiefen
Aushöhlungen
beschichteten sie
danach mit drei
hauchdünnen
Schichten aus
Titanitrid und
Aluminiumoxid. Jede
dieser Nanoporen***

***bildete einen
kleinen
Kondensator.
Kontaktiert mit
Elektroden aus
Aluminium ergab
sich ein
Stromspeicher, der
eine etwa 250-mal
größere Oberfläche
hatte als
konventionelle***

***Kondensatoren
gleicher Größe.
Dieser
Nanostrukturen
konnten bei ersten
Messungen 100-mal
mehr Strom
speichern als
bisher verfügbare
Kondensatoren.
Allerdings sind die
Strommengen damit***

***immer noch zu gering, um mit Lithiumionen-Akkus zu konkurrieren...
(7)***

...Ihre Energiedichte wird mit 5 – 20 kWh/kg angegeben, und es sind Leistungen bis 10 kW erreichbar. Die Lebensdauer-

**Zykluszahl beträgt
ca. 1 Million und
die
Energieeffizienz
liegt bei rund 95
%. Die Kosten
belaufen sich auf
10 – 20 T€/kWh
Speicherkapazität.
(21) (vergl.
Pumpspeicherkraftwe
rk z.B. 80 €/KWh)**

**Kondensatoren
erlauben einen
extrem schnellen
Zugriff und werden
deshalb sicherlich
künftig weitere
Anwendungen für
unterbrechungsfreie
Systeme, in der
Elektrotechnik und
Elektronik finden.
Aufgrund hoher**

**Kosten im
Verhältnis zur
Speicherkapazität
(8), begrenzter
Kapazität und hoher
Selbstentladung
spielen sie keine
Rolle als
Langzeitspeicher.**

2.2

Supraleitende Spulen

Spulen sind die Stromspeicher schlechthin.

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

Bild 7

**Heutige auf Spulen
basierende
Speicherkonzepte,
basieren auf
supraleitenden
Spulen. Hierzu
müssen die heutigen
Supraleiter mittels
flüssigem Helium,
oder Stickstoff
gekühlt werden.**

Aufgrund der hohen

**benötigten
Kühlleistung weisen
SMES eine im
Vergleich zu
anderen
Speichertechnologie
n hohe
Selbstentladerate
von etwa 10-12% pro
Tag auf. Hohe
Wirkungsgrade
lassen sich nur bei**

einer Nutzung als Kurzzeitspeicher erzielen (11, S94)

Der vor einiger Zeit diskutierte Einsatz von SMES in Großanlagen von 1000 bis 5000MWh...zum Tages-/Nachtausgleich sind nach heutigen Kostenanalysen

**nicht
wirtschaftlich
realisierbar.
Allein schon
aufgrund des
benötigten großen
Spulendurchmessers,
der zwischen 100m
bis etwa 1Km liegen
würde...**

**SMES benötigen
einen hohen**

**Wartungsaufwand und
gut ausgebildetes
Personal (22).**

**Aufgrund des hohen
Investitionsaufwand
s, des Aufwands für
die Kühlung konnten
sich SMES Spulen
bislang nicht als
Energiespeicher
durchsetzen. Ein
möglicher**

**Anwendungsbereich
könnte der
Ausgleich von
kurzfristigen
Netzschwankungen
sein, oder die
Sicherstellung
einer
unterbrechungsfreie
n Stromversorgung.**

2.3

Mechanische Energiespeicher – Schwungrad



400 kWh, 167 MW, about 9 s

Bild 8

**Eine seit
Jahrhunderten
bekannte Methode
zur Speicherung von
Energie ist das
Schwungrad.**

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} J_x \omega^2 = \frac{1}{2} \theta \omega^2$$

Bei kontinuierlicher Masseverteilung:

$$I = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV$$

($I = \theta =$ Massenträgheit)

Bild 9

Die speicherbare
Energie nimmt
quadratisch mit der
Umfangsgeschwindigkeit
und dem Abstand
des Schwerpunkts
vom Drehpunkt zu.
Die Fliehkräfte
(*Zentripetalkräfte*)
nehmen gleichfalls
quadratisch mit der

**Winkelgeschwindigkeit
it und dem Abstand
des
Massenschwerpunkts
vom Drehpunkt zu.**

**Moderne
Schwungräder
bestehen demzufolge
aus
Faserverstärkten
Kunststoffen um
hohe Drehzahlen zu**

**ermöglichen, bzw.
den Fliehkräften
standzuhalten.
Zugunsten einer
möglichst
reibungsfreien
Lagerung sind die
Räder magnetisch
gelagert. Die Räder
laufen
üblicherweise im
Vakuum (2). Die**

Energiedichte kann bis zu 222Wh/Kg erreichen (11). Die Kosten je KW Leistung liegen bei 100 – 300 €/KW. Die Kosten je KWh Speicherkapazität können bei alten Stahlsystemen gem. Wikipedia 5000 €/KWh betragen,

**Faserverstärkte
Systeme sind
entsprechend teurer
(*Ein Vielfaches
dessen von
Pumpspeicherkraftwe
rken*).**

**Vorteile sind eine
schnell abrufbare
hohe Leistung.
Nachteile die hohe
Selbstentladung von**

**bis zu 20% /Stunde
und die hohen
Kosten bezogen auf
die
Speicherkapazität.**

**Schwungradspeicher
sind ideal geeignet
um kurzfristige
Netzschwankungen,
beispielsweise
Anfahrströme von
Industrieanlagen,**

**oder Anfahr- und
Bremsströme von
Eisenbahnen zu
glätten. Als Tages,
oder Monatspeicher
für die
Stromerzeugung sind
Schwungräder nicht
geeignet.**

2.4

Elektrochemi sche

(Batterie)

Speicherung

Eine

Zwischenspeicherung

von Strom, als

Notstromversorgung,

**oder zur
Netzstabilisierung
wird seit
Jahrzehnten
praktiziert. In der
Regel werden zu
diesem Zweck
Blei(akku)batterien
wie im Automobil
eingesetzt. In der
Entwicklung und als
Prototypen im**

**Einsatz befinden
sich innovative
Batteriekonzepte
wie die NaS
(*Natrium-Schwefel*)
Batterie, oder
Vanadium
Redoxflowbatterien.**



- Großtechnische Anwendung Bewag Berlin 1987,
- 14,4 MWh, 5 Std. Speicherzeit

Elektrochemische Speicher

Mit internen Speicher
Speicher

Blei, Li-Ionen, NaS

mit externem

Redox Flow

Hohe Leistung, geringe Speicherkapazität

Geringe Leistung, hohe Speicherkapazität

Bild 10

Batterien mit internem Speicher dienen vor allem der Kurzzeitspeicherung, während

**Redoxbatterien mit
einem großen,
externen Speicher
für eine Woche,
oder
Monatsspeicherung
von Strom geeignet
sein könnten. Bei
Letzteren lassen
sich beliebig große
Tanks
(Speicherkapazität)**

**relativ preiswert
errichten.**

...Die

***Investitionskosten
je KW betragen
derzeit circa 2000
€ für Großspeicher.
Das entspricht in
etwa dem Dreifachen
der
Investitionskosten
von***

Druckluftspeichern...

Kosten. Die Investitionskosten je kW betragen derzeit circa 2.000 EUR für Großspeicher. Das entspricht in etwa dem Dreifachen der Investitionskosten von Druckluftspeichern.

Auslegung. Die Reaktionszeiten von Redox-Flow-Batterien betragen wie bei Batterien mit internen Speichern wenige Millisekunden. Durch die Trennung von Speicher und Wandler ergibt sich eine höhere Anzahl von Lebenszyklen (etwa 12.000), aber ein niedrigerer Wirkungsgrad (etwa 80 %). Die Trennung von Speicher und Wandler lässt flexible Kombinationen aus Speichergröße und Konverter zu. Auf Grund der hohen Konverterkosten bietet sich aus wirtschaftlicher Sicht eine im Verhältnis zur Konverterkapazität große Speicherdimensionierung (Volllaststundenzahl wesentlich größer als 8 h) an.

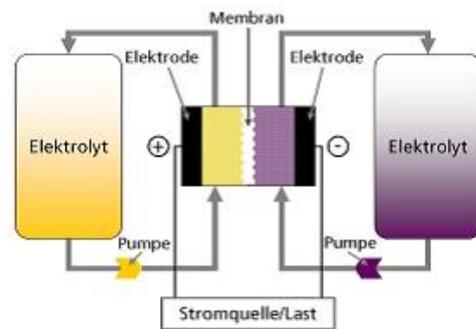


Abbildung 6-4: Schematische Darstellung einer Redox-Flow-Batterie⁸⁶

Bild 11 (8)

..Durch die
Trennung von
Speicher und

Wandler ergibt sich eine höhere Anzahl von Zyklen (etwa 12000), aber ein niedrigerer Wirkungsgrad (etwa 80%). Die Trennung von Speicher und Wandler lässt flexible Kombinationen aus Speichergröße und

**Konverter zu.
Aufgrund der hohen
Investitionskosten
bietet sich aus
wirtschaftlicher
Sicht eine im
Verhältnis zur
Konverterkapazität
große
Speicherkapazität
große
Speicherdimensionie**

**rung
(Volllaststunden
>8h) an.**

**Bei den genannten
Investitionskosten
von 2000€/KW, 5%
Zins, 2,5%
Betriebskosten, 30
Jahren
Abschreibungsdauer
(*Annuität 6,5%*) und
20%**

Vollaststromerzeugung ergeben sich reine Speicherkosten von 10c/Kwh.

Bei einem Wirkungsgrad von 75% und Preisen für Windstrom von 9,4c/Kwh, bzw. Solarstrom von 16c/Kwh, ergibt

**sich ein
Speicherstrompreis
von 23c/KWh für
gespeicherten
Windstrom und
31c/Kwh für
gespeicherten
Solarstrom. *Die
Kosten für Strom
aus Kohle und
Kernkraft betragen
1,5 – 5c/KWh! Die***

**Netzkosten und
Verluste bleiben
hierbei
unberücksichtigt.**

2.5

**Druckluftspe
icherkraftwe**

rke

**In Norddeutschland
gibt es wenige
Berge die mit ihren
Höhenunterschieden
die Einrichtung von
Pumpspeicherkraftwe
rken erlauben.
Andererseits ist
der größte Teil der
umweltschädlichen**

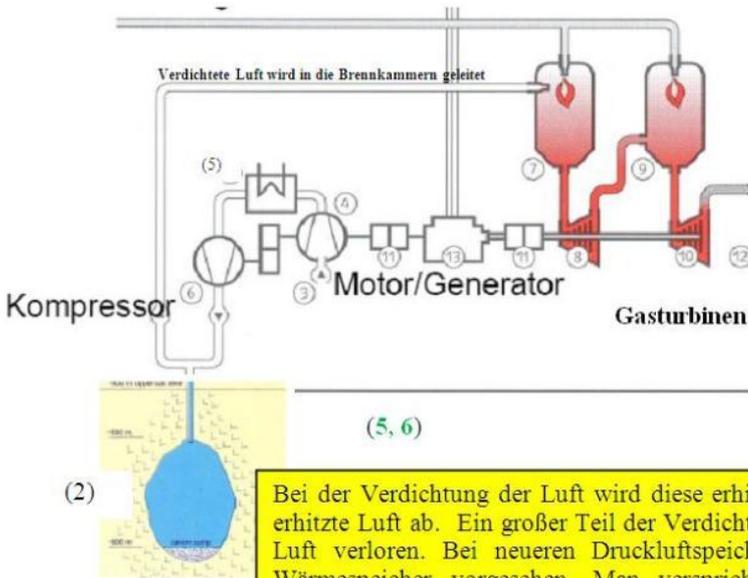
**Windmühlen in
Norddeutschland
aufgestellt. In
Norddeutschland
gibt es zahlreiche
Salzstöcke die sich
als Speicher für
Druckluft anbieten.
Ein
Druckluftspeicherkr
aftwerk ist im
Grunde ein**

Erdgasturbinenkraftwerk. Wie in jeder Gasturbine wird Luft verdichtet, jedoch in diesem Fall nicht direkt in die Brennkammer geleitet, sondern bei Stromüberschuss in einen Speicher eingelagert. Bei großem Strombedarf

**wird die
gespeicherte
Druckluft in die
Brennkammer der
Gasturbine
geleitet.**



Brennstoff: Erdgas
 Leistung: 2h lang 321 MW
 Aufladen: 8h je 60 MW
 Errichtung: 1978
 Luftdruck: 72 bar
 Speicherwirkungsgrad: 42%
 (5,6)



2. Eine ausgespülte Kaverne dient als Druckluftspeicher.
3/6. Verdichter komprimieren die Luft für die Gasturbine. Je nach Nachfrage wird die komprimierte Luft in die Turbine, oder in die Kaverne geblasen.
5. Zwischenkühler
7. In der Brennkammer wird Erdgas mit komprimierter Luft verbrannt.
11/13. Je nach Situation wird entweder Strom an das Netz abgegeben, oder mit Netzstrom die Verdichter angetrieben.

Bei der Verdichtung der Luft wird diese erhitzt. Im Speicher kühlt sich die erhitzte Luft ab. Ein großer Teil der Verdichterarbeit geht zur Erhitzung der Luft verloren. Bei neueren Druckluftspeicherkonzepten ist ein externer Wärmespeicher vorgesehen. Man verspricht sich hiervon bei höheren Anlagekosten eine Steigerung des Speicherwirkungsgrads auf bis zu 72%

Bild 12

Aufgrund der Verwendung des teuren Brennstoffs Erdgas, des

**niedrigen
Wirkungsgrads der
Druckluftspeicherung,
wird der
Speicher Huntsdorf
sowenig wie möglich
genutzt. Eine
Druckluftspeicherung
ist möglich, ist
allerdings nicht
die erste Wahl.**

Druckluftspeicher

**liessen sich mit
einer großen
Speicherkaverne als
14-Tage Speicher
zur Nutzbarmachung
„Erneuerbarer
Energien“ nutzen.**

2.6

Pumpspeicher kraftwerke

Pumpspeicherkraftwerke werden seit etwa 100 Jahren als Stromspeicher genutzt.

Gegenwärtig werden in Deutschland

Pumpspeicherkraftwerke mit gut 6610MW

**Leistung und 40GWh
(11)**

**Speicherkapazität
betrieben.**

**Pumpspeicherkraftwe
rke sind**

vergleichsweise

preiswert und

ermöglichen einen

Ausgleich der

täglichen

Lastspitzen. (8)

**..Kosten. PSW
werden seit vielen
Jahrzehnten
wirtschaftlich
rentabel
eingesetzt. Die
Investitionskosten
betragen in etwa
750 €/KW..**

**Physikalisch ergibt
sich die
Energiespeicherung**

aus :

$W = D \times g \times \Delta H \times V$
(Dichte des Wassers
x Erdbeschleunigung
x Höhendifferenz x
Speichervolumen)

Die

Energiespeicherung
ist linear abhängig
von der
Höhendifferenz des

Ober- und Unterbehälters und des Speichervolumens.

Schema Speicherwerk: Speicherwerk:

Schema Speicherwerk:



Bild 13

Die Gesamtverluste der Umwandlung halten sich in Grenzen. Etwa $\frac{3}{4}$ des eingespeisten Stroms können wiedergewonnen werden. Hinzu kommen die Verluste/Kosten der Zuleitung des zu

speichernden und Ableitung des gewonnenen Stroms.

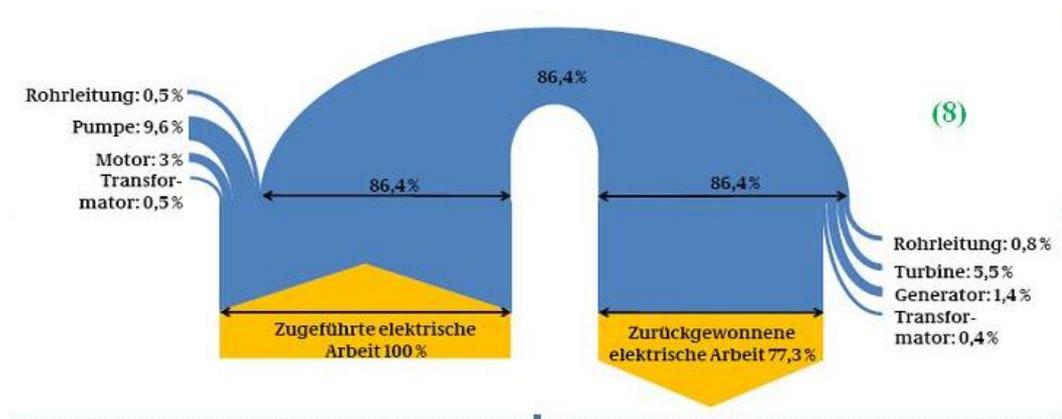


Abbildung 2: Überschlägige Zusammensetzung des Speichernutzungsgrads (Eigene Darstellung auf Basis von Giesecke, J.; Mosonyi, E., 2005, S.649)

Bild 14

Pumpspeicherkraftwerke sind die erste

**Wahl als
Tagesstromspeicher.
Die Ausnutzung der
Speicher beträgt
etwa 20%. Das
heißt ein
Pumpspeicherkraftwe
rk liefert etwa 20%
des Tages Vollast.
Gleichfalls wird
20% des Tages die
volle Pumpleistung**

aus dem Netz bezogen.

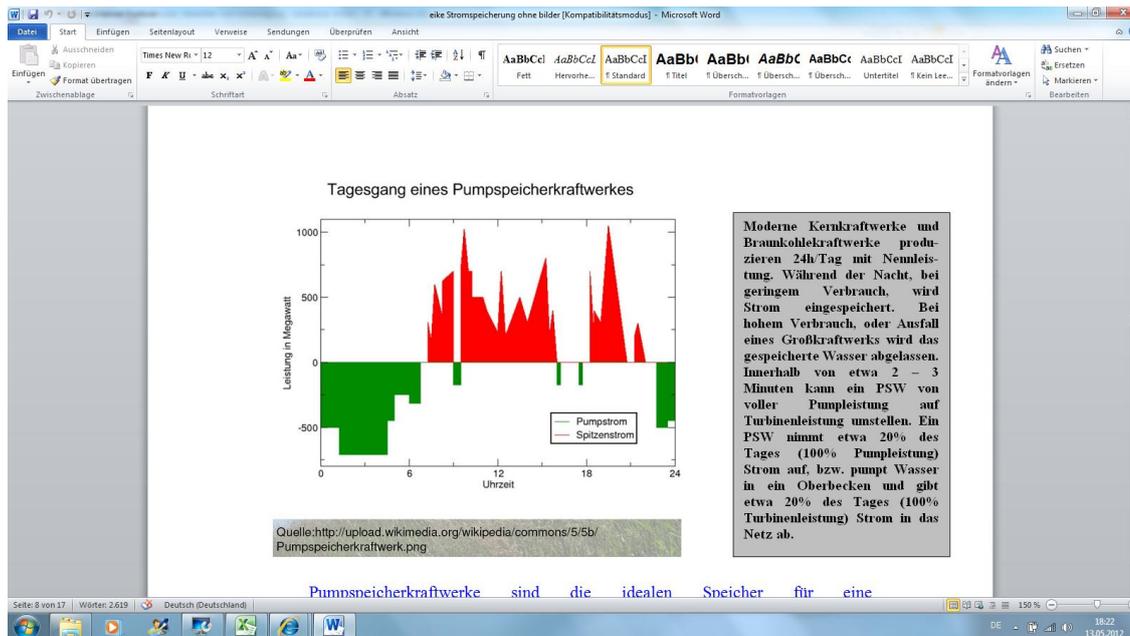


Bild 15

Pumpspeicherkraftwerke sind die idealen Speicher

**für eine
Tagesstromspeicherung und ergänzen den
Einsatz von
Kohlekraftwerken
und
umweltfreundlichen
Kernkraftwerken.
Pumpspeicherkraftwerke können beim
Einsatz
umweltschädlicher**

Windmühlen einen Beitrag zur Milderung von Erzeugungsspitzen leisten. Allerdings reichen die Pumpspeicherkapazitäten nicht aus um ein unbegrenztes Anwachsen der Windstromkapazitäten auszugleichen.

Zykluskosten Pumpspeicherkraftwerk am Beispiel des Projekts Atdorf

**Aus der
Investitionssumme
von 1 Mrd. € und
einer Leistung von
1400 MW (19) ergibt
sich eine
Investitionssumme
von knapp 750 €/KW.**

Bei einem Zinssatz von 5% über 30 Jahre ergibt sich eine Annuität von 6,5%. Bei 1% Betriebskosten entspricht dies 75 Mio € Kosten pro Jahr. Die beiden größten Pumpspeicherkraftwerke Goldisthal und

**Atdorf haben
Speicherkapazitäten
von knapp 8 und 9
Stunden. Bei einer
Tagesspeicherung
mit 20% Vollast –
Speicher und
Leistungsbetrieb
ergeben sich
Speicherkosten von
3c/KWh.**

Bei einem 2

**Wochenzyklus und 9h
Speicherkapazität
ergibt sich eine
Auslastung von
2,7%. Damit
betragen die
Speicherkosten
23c/KWh. Aufgrund
der geringen
Speicherkapazität
der realen PSW-
Kraftwerke**

**betragen die Kosten
einer 2**

**Wochenspeicherung
zig-faches einer
Tagesspeicherung.**

**Pumpspeicherkraftwe
rke sind geeignet
die Einspeisung des
Zufallsstrom aus
Wind, - und
Solarenergie zu
glätten und die**

**Gefahr von
Netzzusammenbrüche
zu reduzieren,
allerdings sind
diese nicht
geeignet Wind- u.
Solarstrom zu
erträglichen
Preisen als
Grundlaststrom
nutzbar zu machen.**

Die Kosten für

**gespeicherten
Tagesstrom, Strom
aus Kohle, oder
Kernenergie,
Erzeugungskosten
3c/Kwh
(*abgeschrieben*),
75% Wirkungsgrad,
3c/KWh
Speicherkosten
ergibt sich ein
Speicherstrompreis**

**von 7c/KWh
zuzüglich der
Netzkosten und
Verluste.**

**Die Kosten für
gespeicherten Strom
aus Windstrom, 2
Wochenspeicher,
Strompreis gem. EEG
9,4c/KWh betragen
36c/KWh zuzüglich
der Netzkosten und**

Verluste.

**Die Kosten für
gespeicherten Strom
aus Solarstrom, 2
Wochenspeicher,
Strompreis gem. EEG
16c/kWh betragen
44c/kWh zuzüglich
der Netzkosten und
Verluste.**

Wind- und

Solarstrom lässt sich auch mit Pumpspeicherkraftwerken zu Grundlaststrom konvertieren. Allerdings sind die Kosten ökologisch.

Die Pumpspeicherkraftwerkskapazität wird, soweit dies

**Landschaftsschutz
und
Bürgerinitiativen
zulassen,
kontinuierlich
ausgebaut. Ein
weiteres Potential
böten die
aufgelassenen
Braunkohlegruben,
die man als
Untersee nutzen**

**könnte. Zusammen
mit Seen auf
Landschaftshöhe
liessen sich die
Speicherkapazitäten
signifikant
erweitern .**

2.7

Wasserstoff als Energiespeicher

**Aufgrund der hohen
Energiedichte
bietet sich eine
chemische
Wasserstoffspeicherung
als 2- Wochen,**

**oder Monatsspeicher
an um Wind- und
Solarstrom
grundlastfähig zu
machen.**

**Funktion einer
Wasserstoffspeicher
ung**

Funktion einer Wasserstoffspeicherung

Überschussstrom wird genutzt um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten.	Das erzeugte Wasserstoffgas wird auf einen Druck von etwa 100 - 200bar verdichtet. Allein beim Verdichten gehen 15% der Energie verloren (11).	Das Wasserstoffgas kann in Kavernen, beispielsweise ausgespülten Salzstöcken, zwischengelagert werden.	Das Wasserstoffgas wird bei Strombedarf an die Oberfläche zurückgebracht und in Brennstoffzellen, oder einer Gasturbine verstromt.
--	--	--	--

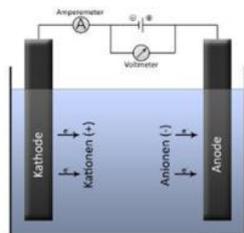
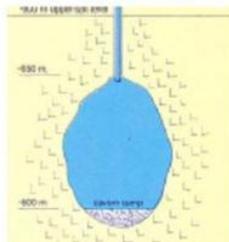
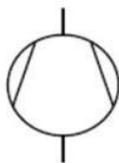


Abbildung 6-6: Grundschemata der Elektrolyse⁸⁸



Alternativ ließe sich der Wasserstoff an die chemische Industrie verkaufen



Bild 16

**Eine Alternative
könnte es sein den
erzeugten und
gespeicherten
Wasserstoff anstatt
diesen zur**

**Stromerzeugung zu
nutzen an die
chemische Industrie
zu verkaufen.**

**Allerdings wäre
dies ein recht
teurer Wasserstoff,
insbesondere wenn
man den aus
religiösen Gründen
subventionierten
Ökostrom hierzu**

verwendet.

Kosten

Die

Investitionskosten

sind mit bis zu

2.500€/KW (für eine

Speichergröße von

12h und einer

Erzeugungsleistung

von

300MW) vergleichswei

**se hoch. Sie werden
vor allem durch den
Konverter
verursacht.**

Auslegung

**Die im Vergleich
zum Speicher sehr
hohen**

**Konverterkosten
fördern**

Anlagenkonfiguratio

**nen, in denen ein
großes
Speichervolumen
eine hohe
Vollaststundenzahl
des Konverters
ermöglicht. (8)**

Einsatzmöglichkeiten

**Der Wirkungsgrad
ist mit 30 – 40%**

**sehr niedrig. Auf
Grund der im
Vergleich zu
Druckluft- oder
Pumpspeicherkraftwe
rken hohen
Energiedichte von
Wasserstoff, ist
mit Wasserstoff die
Speicherung
größerer
Energienmengen bei**

**geringem
Platzbedarf
möglich.**

**Zykluskosten
Wasserstoffspeicher**

**Aus der
Investitionssumme
von 2500 €/KW
Leistung (*Die Größe
der Kaverne ist
nicht maßgebend*)**

***für die Kosten
einer
Wasserstoffspeicher
ung), 30 Jahren,
Abschreibungsdauer,
5% Zins, 6,5%
Annuität und 2%
Betriebskosten
ergeben sich bei
einer Nutzung von
20%
Vollasteinspeicheru***

ng und 20%
Vollastleistung
reine
Speicherkosten von
12c/kWh.

Die Kosten für
gespeicherten Strom
aus Windstrom
(Land), 2
Wochenspeicher,
Strompreis gem. EEG
9,4c/kWh,

**Wirkungsgrad 40%,
betragen 36c/kWh
zuzüglich der
Netzkosten und
Verluste.**

**Die Kosten für
gespeicherten Strom
aus Solarstrom, 2
Wochenspeicher,
Strompreis gem. EEG
16c/kWh (b),
Wirkungsgrad 40%,**

**betragen 52c/kWh
zuzüglich der
Netzkosten und
Verluste.**

**Angesichts von
Stromerzeugungskost
en von 1,5 – 5c/kWh
in modernen Kohle
und Kernkraftwerken
(s. Artikel
Stromerzeugung)
sind die obigen**

**Erzeugungs-, und
Speicherkosten zu
denen noch die
Verluste von 60%
des eingespeisten
Stroms und die
Leitungskosten
hinzukommen,
ausschließlich
ökoreligiös zu
verstehen.**

3.

Zusammenfassung der Kostensituation

**Die Kosten des
Stroms, der
Speicherung und der
Speicherverluste**

betragen häufig ein Mehrfaches der Stromerzeugung.

Kosten Stromerzeugung und Speicherung

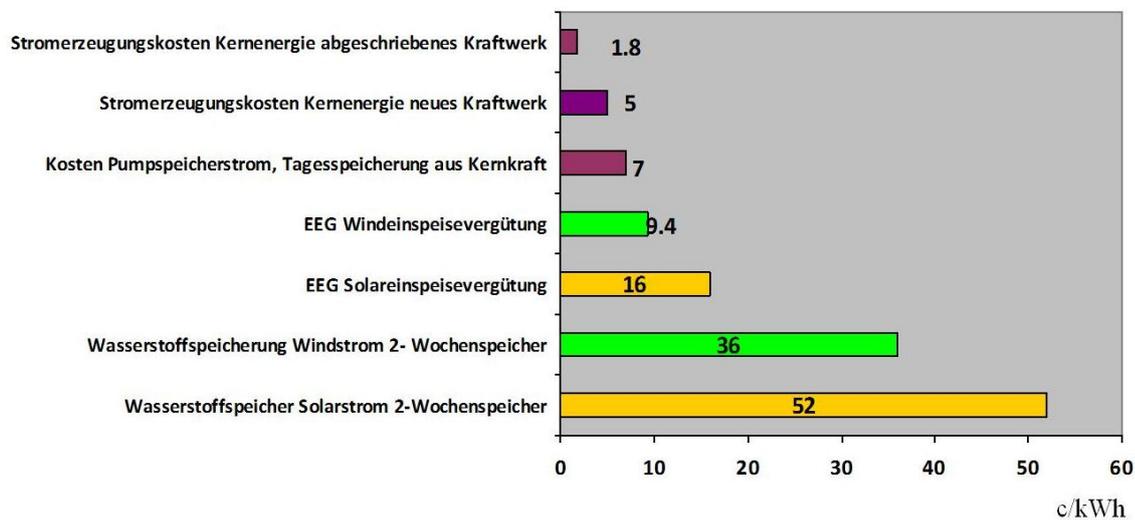


Bild 17

Zu den oben genannten Kosten

**addieren sich die
Netzkosten
(Kraftwerk
-Speicher-
Verbraucher) und
die
Transportverluste
von etwa 1 -3% je
1000Km Leitung (5).**

4. Nutzung verschiedene r Speicher in einem Stromnetz

4. Nutzung verschiedener Speicher in einem Stromnetz

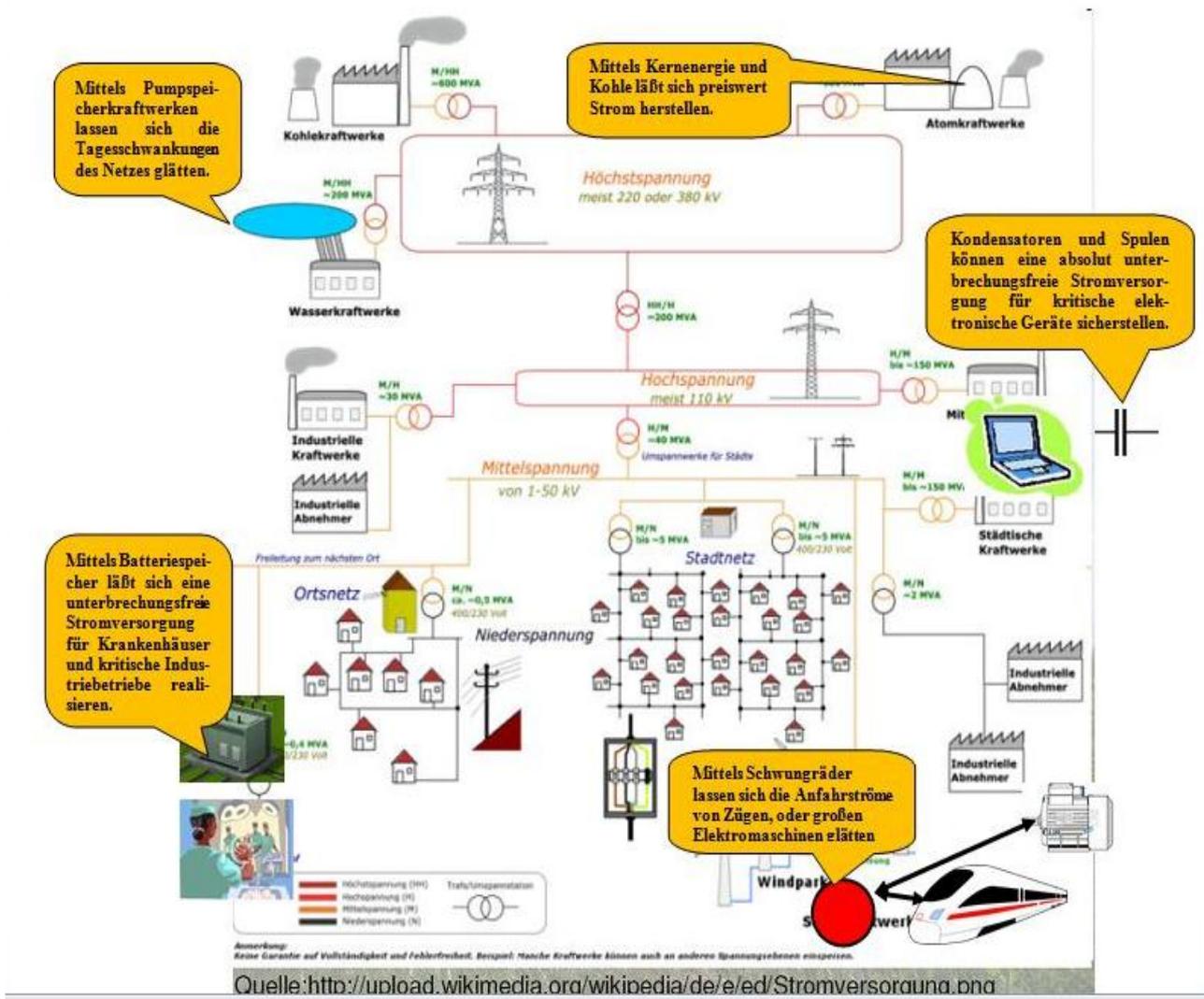


Bild 18

A. Superkondensator

en, Spulen und Schwungräder eignen sich ideal für eine Kurzzeitspeicherung von Strom und einer Stabilisierung der Stromnetze.

B. Batterien mit internem Speicher eignen sich am Besten für eine Notstromversorgung

**von Krankenhäusern
und
Industriebetrieben
die auf eine 100%
Stromversorgung
angewiesen sind**

**C. Pumpspeicherkraf-
werke und mit
Abstrichen
Druckluftspeicher
eignen sich zum
Tagesausgleich der**

Stromversorgung.

D. Vanadium Redox

**Batterien mit
externem Speicher**

und

Wasserstoffspeicher

eignen sich am

ehesten zum

Ausgleich der

Erzeugungsschwankun

gen der Wind- und

Solarstromproduktio

n, wobei die Kosten dieser Speicherung ökologisch sind.

**Horst Trummler –
Vandale**

**www.oekoreligion.net
age.de**

Erläuterungen:

**a. Umrechnung KWh,
GJ, SKE: 1 Kg SkE =
8,14 KWh = 29 MJ, 1
MJ = 0,278 KWh**

**b. Erläuterung
Solarstrompreis...
Gem. (24) werden
die
Einspeisevergütunge
n für Solarstrom
dieses Jahr
zwischen 12,7 und**

**19,5 c/kWh abhängig
von der
Anlagengrösse und
dem Zeitpunkt der
Inbetriebnahme
betragen. Für diese
Betrachtung wurde
ein Preis von
16c/kWh
angenommen.**

**f. Die Berechnung
der Kapitalkosten**

erfolgt in diesem Artikel (*in den anderen Artikeln wurde dies ähnlich Modell 1 gerechnet*) auf der Basis einer gleich bleibenden Annuität.

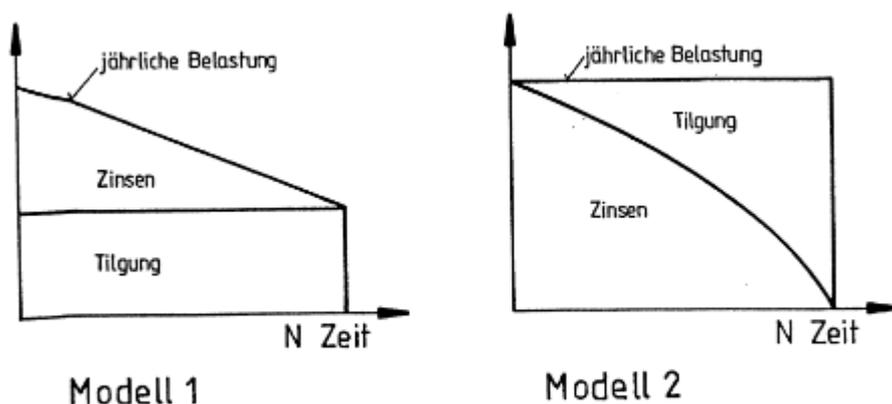


Abb. 10.7: Modelle für Kapitalabschreibung

**Bei dieser
Betrachtung bleibt
die Geldentwertung
unberücksichtigt!
In der Realität
nehmen die
Kapitalkosten eines
Kraftwerks durch
die Geldentwertung
ab.**

Quellen:

**1. Homepage des
UCTE (Europäisches
Verbundnetz) vom
01.04.09**

**2. Diss. ETH 11444,
Schnelldrehendes
Schwungrad aus
faserverstärktem
Kunststoff, Peter
von Burg, 1996**

3. <http://www.bmwi.>

[de/BMWi/Navigation/
Service/publikation
en, did=53736.html](http://www.bmwi.de/Navigation/Service/publikationen, did=53736.html)

Bundeswirtschaftsministerium

**4. Who needs pumped
storage plants?,**

Dr. Peter

Vennemann, VGB

Congress Power

Plants 2009, Lyon,

23rd to 25th Sept.

Vattenfall Wer

5.

Energiespeicherung,

Transport und

Netzmanagement,

Daniel Groß,

Katharina Nowak,

Andrea May,

Matthias Schelling.

Integration

Erneuerbarer

Energien,

Druckluftspeicher

6. Integration

erneuerbarer

Energien, 18.

Februar 2008, EON

Energie Dr.

Wolfgang Woyke

7.

[http://www.weltderphysik.de/de/4245.php?ni=1325,](http://www.weltderphysik.de/de/4245.php?ni=1325)

**Effizienter
Stromspeicher aus
Nanoporen
20.03.2009 | Welt
der Stoffe**

8. DENA Studie,

A. Speicher in Deutschland und im benachbarten Ausland

Tabelle 12-1: PSW in Deutschland und im benachbarten Ausland (Auswahl)

PSW (Standort)	Turbinenleistung [MW]	Pumpleistung [MW]	nutzbare Kapazität [MWh]	Speichernutzungsgrad	angeschlossene Netzebene [kV]	PSW in Regelzone von	Zusätzliche Informationen
Atdorf (BW)	1.400	1.400	13.000	0,75	380 /220	Geographisch EnBW, netztechnisch amprion/ EnBW	
Blautal (BW)	45,5	44,7	370	0,74	bis 380 möglich	EnBW	Raumordnungsverfahren 05/2009 abgeschlossen
Bleiloch (TH)	80	32	753	0,61	110	Vattenfall	
Einöden (BY)	200	200	1.600	0,80	110	E.ON	in Planung (Stand September 2007)
Einsiedel (BW)	1,3	1,1	23		110	EnBW	
Erzhausen (NI)	220	230	940	0,74	220	E.ON	
Geesthacht (SH)	120	96	600	0,68	110	Vattenfall	
Glems (BW)	90	68	560	0,73	110	EnBW	
Goldisthal (TH)	1.060	1.140	8.480	0,80	380	Vattenfall	
Happurg (BY)	160	126	900	0,72	110	E.ON	
Häusern (BW)	144	104	46.330	0,70	110	EnBW	
Hohenwarte 1 (TH)	62,75	34	795	0,60	110	Vattenfall	
Hohenwarte 2 (TH)	320	310	2.087	0,68	220	Vattenfall	
Höllbach 3 (BY)	1,5	0,8			110	E.ON	
Koepchenwerk Herdecke (NW)	153	153,6	590	0,75	220	RWE	
Kopswerk II (A, Vorarlberg)	450	450		0,80	220	EnBW / Illwerke/VKW-Gruppe	
Kühtai / Sellrain-Silz (A, Tirol)	289	250		0,73	220	Tiwag	Anteil RWE und EnBW

Langenprozelten (BY)	168	154	950		110	E.ON	Ausschließlich Bahnstrom
Leitzachwerk 1 (BY)	49	45,4	550	0,76	110	E.ON	
Leitzachwerk 2 (BY)	49,2	36,8	550	0,76	110	E.ON	
Lünersee (A, Vorarlberg)	232	224	262.160		220	EnBW / Illwerke/VK W-Gruppe	
Markersbach (SN)	1050	1140	4.018	0,73	380	Vattenfall	
Maxhofen-Oberberg (BY)	10,4	10,8		0,65	110	E.ON	
Niederwartha (SN)	120	120	591	0,53	110	Vattenfall	
Reisach Rabenleite (BY)	105	81	630	0,75	110	E.ON	Ausschließlich Bahnstrom
Rifa (A, Vorarlberg)	7	8	1000		220	EnBW / Illwerke/VK W-Gruppe	
Rodund I (A, Vorarlberg)	198	41			110	EnBW / Illwerke/VK W-Gruppe	
Rodund II (A, Vorarlberg)	276	260			220	EnBW / Illwerke/VK W-Gruppe	
Rönkhausen (NW)	140	140	690	0,75	110	RWE	
Säckingen (BW)	353	301	2.064	0,77	220	EnBW	
Schwarzenbachwerk (BW)	45	20	198	0,55	110	EnBW	
Sorpetalsperre (NW)	9,9	7,3	7.120	0,60	110	RWE	
Tanzmühle Rabenleite (BY)	35	24,5	404	0,69	110	E.ON	
Vianden (L)	1.100	836	4.675	0,74	220	RWE	
Waldeck 1 (HE)	140	96	478	0,75	110	E.ON	
Waldeck 2 (HE)	440	476	3.428	0,80	380	E.ON	
Waldshut (BW)	176	80	40.237	0,65	110	EnBW	
Wehr (BW)	980	990	6.073	0,76	380	EnBW	
Wendefurth (ST)	80	72	523	0,70	110	Vattenfall	
Witznau (BW)	220	128	62.684	0,61	220	EnBW	

9. Einbindung von Speichern für erneuerbare

**Energien in die
Kraftwerkseinsatzpl
anung – Einfluss
auf die Strompreise
der Spitzenlast,
Dissertation**

**Vanessa Grimm, Ruhr
Uni Bochum, 2007**

<http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/GrimmVanes>

sa/diss.pdf, S16

**10. Siemens PDF zu
Energiespeichern**

**11. Büro für
Technikfolgenabschä-
tzung beim
Deutschen
Bundestag,
Energiespeicher-
Stand und
Perspektiven,**

**Dagmar Oertel, S35,
S37, S94.**

**12. Energiespeicher
in
Stromversorgungssys
temen mit hohem
Anteil erneuerbarer
Energieträger Bedeu
tung, Stand der
Technik,
Handlungsbedarf 24.
03.2009**

13. <http://www.vde.de/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V1/Aktuelles/0effentlich/Seiten/Energiespeichers-tudie-Ergebnisse.aspx>

**14. Reaktortechnik
2, Vorlesung, April
1992, RWTH Aachen,
Prof. Dr. Ing. K.
Kugler, S144-147**

15.

**<http://www.wisoveg.de/rheinland/erft/erft-rb.htm> Zugriff
01.**

16.

http://www-classic.uni-graz.at/inmwww/NEU/lehre/pdf/Energiewirtschaft_WS0506_Teil2.pdf

Logistik der Stromerzeugung Haar&Haar

17.

**[http://www.energie-
verstehen.de/Energi
eportal/Navigation/
strompreise,did=249
606.html](http://www.energie-verstehen.de/Energieportal/Navigation/strompreise,did=249606.html)**

vom 18.04.09

**18. Who needs
pumped storage
plants? VGB
Congress Power
Plants 2009, Lyon
23 – 25.09,
Vattenfall Europe
Generation, RWE
Power 29.09.2009,
Dr. Hans Funke RWE
Power AG, Lothar
Thiel Vattenfall**

**Europe Generation
AG, Dr. Peter
Vennemann, RWE
Power AG.**

19.

<http://www.landkreis-waldshut.de/landkreis-waldshut/index.php?id=3177>

20.

[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PV-Norddeutschland-2008-](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PV-Norddeutschland-2008-Tagesdarstellung.svg&filetimestamp=20090620134220)

[Tagesdarstellung.svg&filetimestamp=20090620134220](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PV-Norddeutschland-2008-Tagesdarstellung.svg&filetimestamp=20090620134220)

Jahresgang 2008,

Der

Urheberrechtsinhaber

r dieser Datei hat ein unbeschränktes Nutzungsrecht ohne jegliche Bedingungen für jedermann eingeräumt. Dieses Nutzungsrecht gilt unabhängig von Ort und Zeit und ist unwiderruflich.

21.

http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_10_03_e_speichern_batterien_2.htm

**22. Dr. Arman
Nylas FZK.**

**23. Gem. dieser
Quelle trägt die
Einspeisevergütung**

2012 8,93c/kWh

zzgl.

Systemdienstleistung

gbonus 0,49c/kWh

zzgl. Ggf.

Repoweringbonus

0,49c/kWh

24. Google Ergebnisse

Photovoltaik Einspeisevergütung ab 01.04.2012 (stand 17. April 2012)

Inbetriebnahme	Installierte Anlagenleistung – PV Dachanlagen / Vergütung in Cent je kWh		
	Bis 10 KW	Bis 1000 KW /1 MW	1 MW – 10 MW
Ab 01.04.2012	19,50 Cent	16,50 Cent	13,50 Cent
Monatliche Degression Mai – Oktober 2012	1,0%	1,0%	1,0%

Ab 01.05.2012	19,31 Cent	16,34 Cent	13,37 Cent
Ab 01.06.2012	19,12 Cent	16,18 Cent	13,24 Cent
Ab 01.07.2012	18,93 Cent	16,02 Cent	13,11 Cent
Ab 01.08.2012	18,74 Cent	15,86 Cent	12,98 Cent
Ab 01.09.2012	18,55 Cent	15,70 Cent	12,85 Cent
Ab 01.10.2012	18,36 Cent	15,54 Cent	12,72 Cent

Horst Trummler (Vandale) für EIKE

Related Files

- [eike_stromspeicherung-pdf](#)