

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

geschrieben von Trummel, Horst | 22. Mai 2012

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

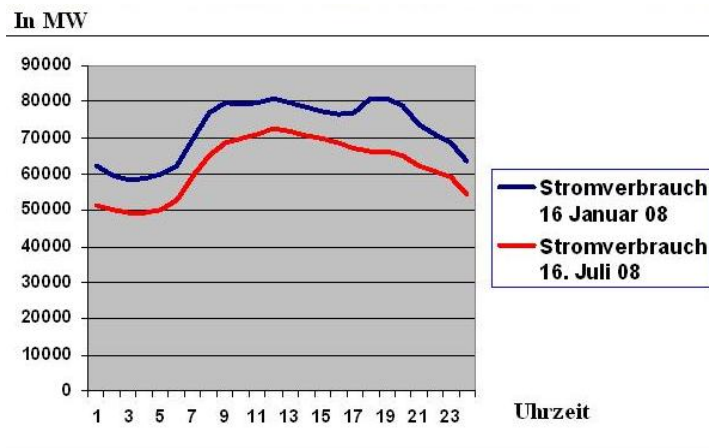
Zusammenfassung

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.



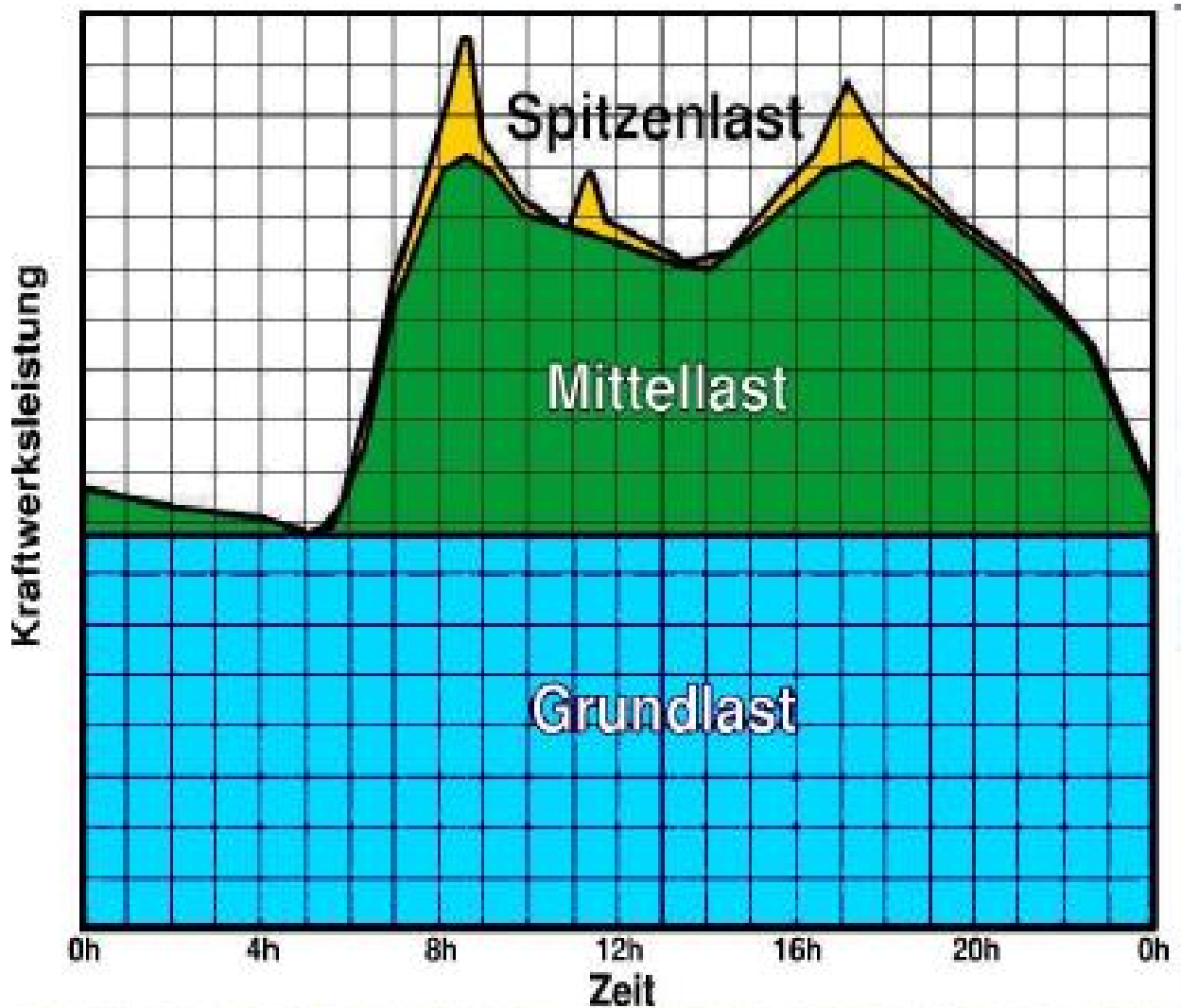
Der Strombedarf schwankt in einem bedarfsgesteuerten Netz. Die signifikanteste Schwankung ist die Tag-Nacht Schwankung.

(1)

Bild 2 in MW (1)

1.1 Stromerzeugung

Der konventionelle Stromerzeugung in Deutschland teilt sich auf in:



Quelle: <http://www.computerbase.de/Lexikon/Lastprofil>

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



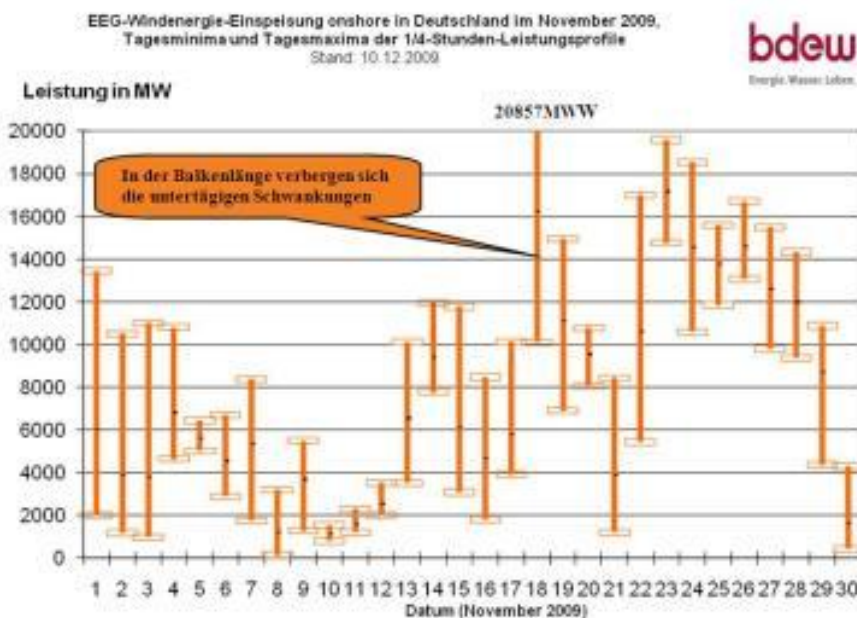
Bild 4

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.

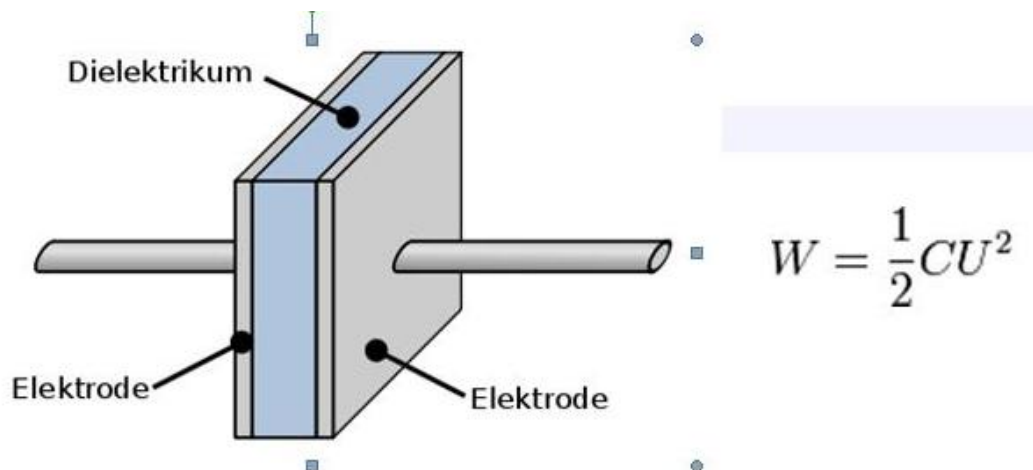
Stromspeicherung

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

***Titannitrid 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-
Zyklenzahl beträgt
ca. 1 Million und
die
Energieeffizienz
liegt bei rund 95
%. Die Kosten
belaufen sich auf
10 – 20 T€/kWh***

Speicherkapazität.

(21) (vergl.

Pumpspeicherkraftwerk z.B. 80 €/KWh)

Kondensatoren

erlauben einen

extrem schnellen

Zugriff und werden

deshalb sicherlich

künftig weitere

Anwendungen für

unterbrechungsfrei

**e 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

**Supraleitend
e 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
Speichertechnologi
en 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
Investitionsaufwan
ds, 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
unterbrechungsfrei
en
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

**eit 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
Pumpspeicherkraftw
erken*) .
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)batterie
n 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

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.

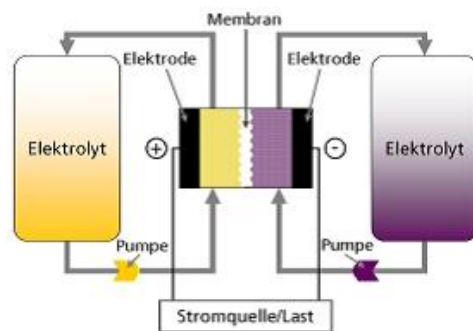


Abbildung 6-4: Schematische Darstellung einer Redox-Flow-Batterie⁸⁵

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
Speicherdimensioni
erung**

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

**Bei den genannten
Investitionskosten
von 2000€/KW, 5%
Zins, 2,5%**

**Betriebskosten, 30
Jahren**

**Abschreibungsdauer
(*Annuität 6,5%*)
und 20%**

Volllaststromerzeug

**ung 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
Pumpspeicherkraftw
erken erlauben.
Andererseits ist
der größte Teil
der
umweltschädlichen**

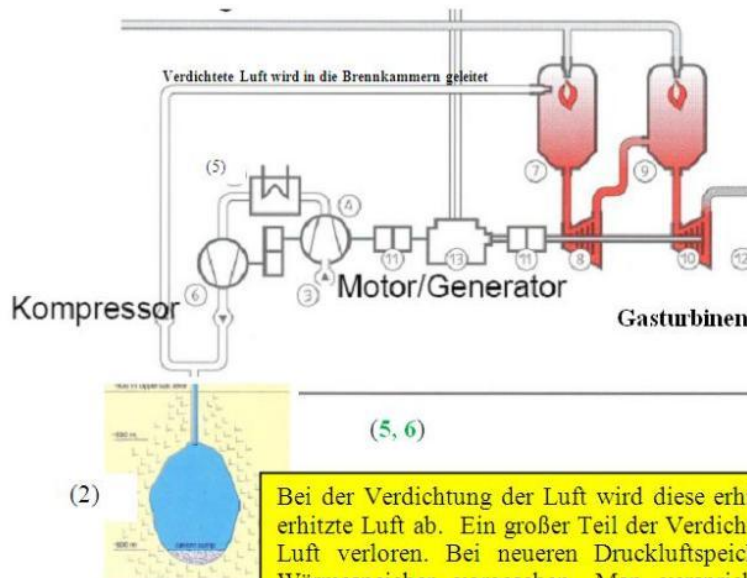
**Windmühlen in
Norddeutschland
aufgestellt. In
Norddeutschland
gibt es zahlreiche
Salzstöcke die
sich als Speicher
für Druckluft
anbieten. Ein
Druckluftspeicher-
kraftwerk ist im
Grunde ein**

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.**

**Druckluftspeiche
r 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.**

**Pumpspeicherkraftwerke 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 Speicherkraftwerk:

Schema Speicherkraftwerk:



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.

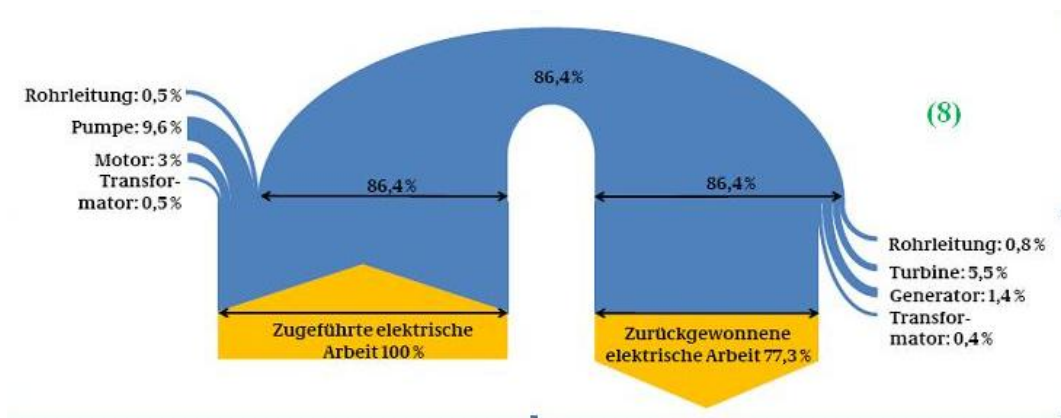


Abbildung 2: Überschlägige Zusammensetzung des Speichernutzungsgrads (Eigene Darstellung auf Basis von Giesecke, J.; Mosonyi, E., 2005, S.649)

Bild 14

Pumpspeicherkraftwerke sind die erste Wahl als Tagesstromspeicher . Die Ausnutzung

**der Speicher
beträgt etwa 20%.
Das heißt ein
Pumpspeicherkraftwerk
liefert etwa
20% des Tages
Vollast.
Gleichfalls wird
20% des Tages die
volle Pumpleistung
aus dem Netz
bezogen.**

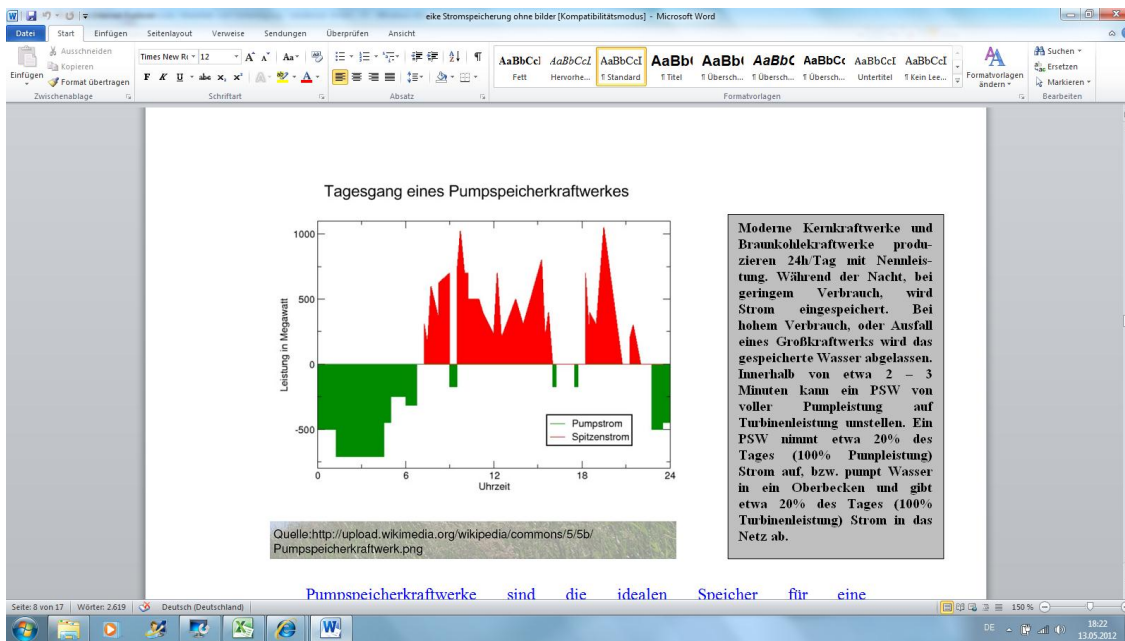


Bild 15

Pumpspeicherkraftwerke sind die idealen Speicher für eine Tagesstromspeicherung und ergänzen den Einsatz von

**Kohlekraftwerken
und
umweltfreundlichen
Kernkraftwerken.
Pumpspeicherkraftw
erke können beim
Einsatz
umweltschädlicher
Windmühlen einen
Beitrag zur
Milderung von
Erzeugungsspitzen**

leisten.

**Allerdings reichen
die**

**Pumpspeicherkapazi-
täten nicht aus um
ein unbegrenztes**

Anwachsen der

**Windstromkapazität
en auszugleichen.**

Zykluskosten

**Pumpspeicherkraftw-
erk 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
Pumpspeicherkraftw
erke 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
Tagespeicherung.
Pumpspeicherkraftw
erke 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
Pumpspeicherkraftw
erken zu
Grundlaststrom
konvertieren.
Allerdings sind**

**die Kosten
ökologisch.**

Die

**Pumpspeicherkraftw
erkskapazität**

**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
Wasserstoffspeiche-
rung als 2-
Wochen, oder
Monatsspeicher an
um Wind- und
Solarstrom
grundlastfähig zu
machen.**

**Funktion einer
Wasserstoffspeiche**

rung

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.
---	--	--	--

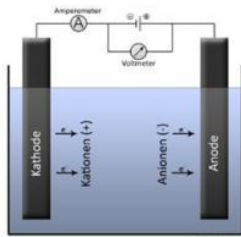
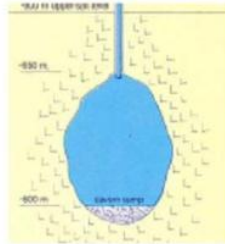
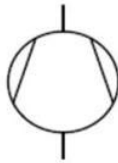


Abbildung 6-6: Grundschemata der Elektrolyse⁸⁵



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) vergleichsweise hoch. Sie werden vor allem durch den Konverter verursacht.

Auslegung

Die im Vergleich zum Speicher sehr hohen

Konverterkosten fördern

Anlagenkonfigurationen, 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
Pumpspeicherkraftw
erken hohen
Energiedichte von
Wasserstoff, ist
mit Wasserstoff
die Speicherung
größerer
Energien Mengen bei**

**geringem
Platzbedarf
möglich.
Zykluskosten
Wasserstoffspeicher**

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

***maßgebend für die
Kosten einer
Wasserstoffspeiche
rung), 30 Jahren,
Abschreibungsdauer
, 5% Zins, 6,5%
Annuität und 2%
Betriebskosten
ergeben sich bei
einer Nutzung von
20%
Vollasteinspeicher***

ung 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
Stromerzeugungskos-
ten 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

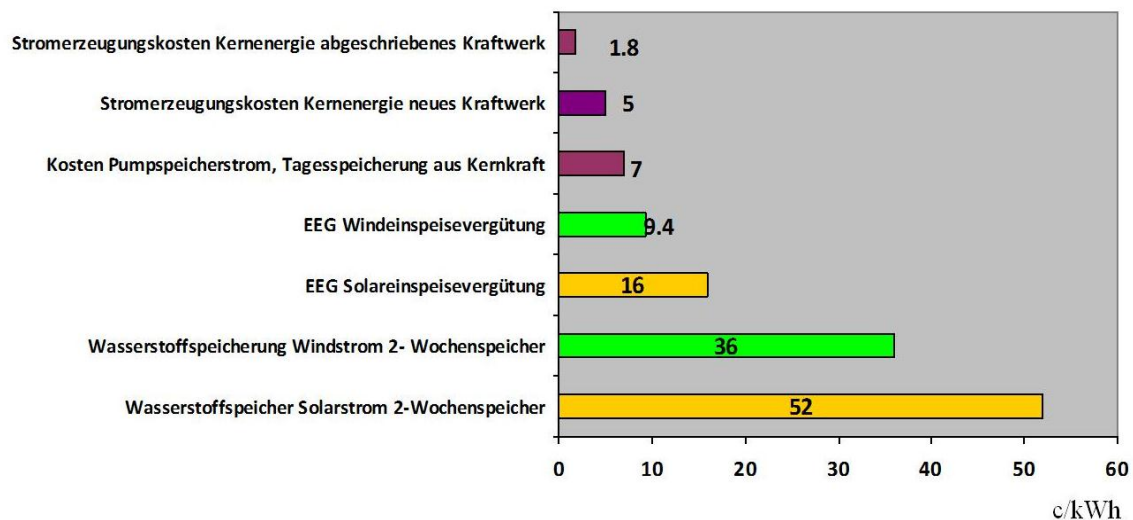


Bild 17
Zu den oben

**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

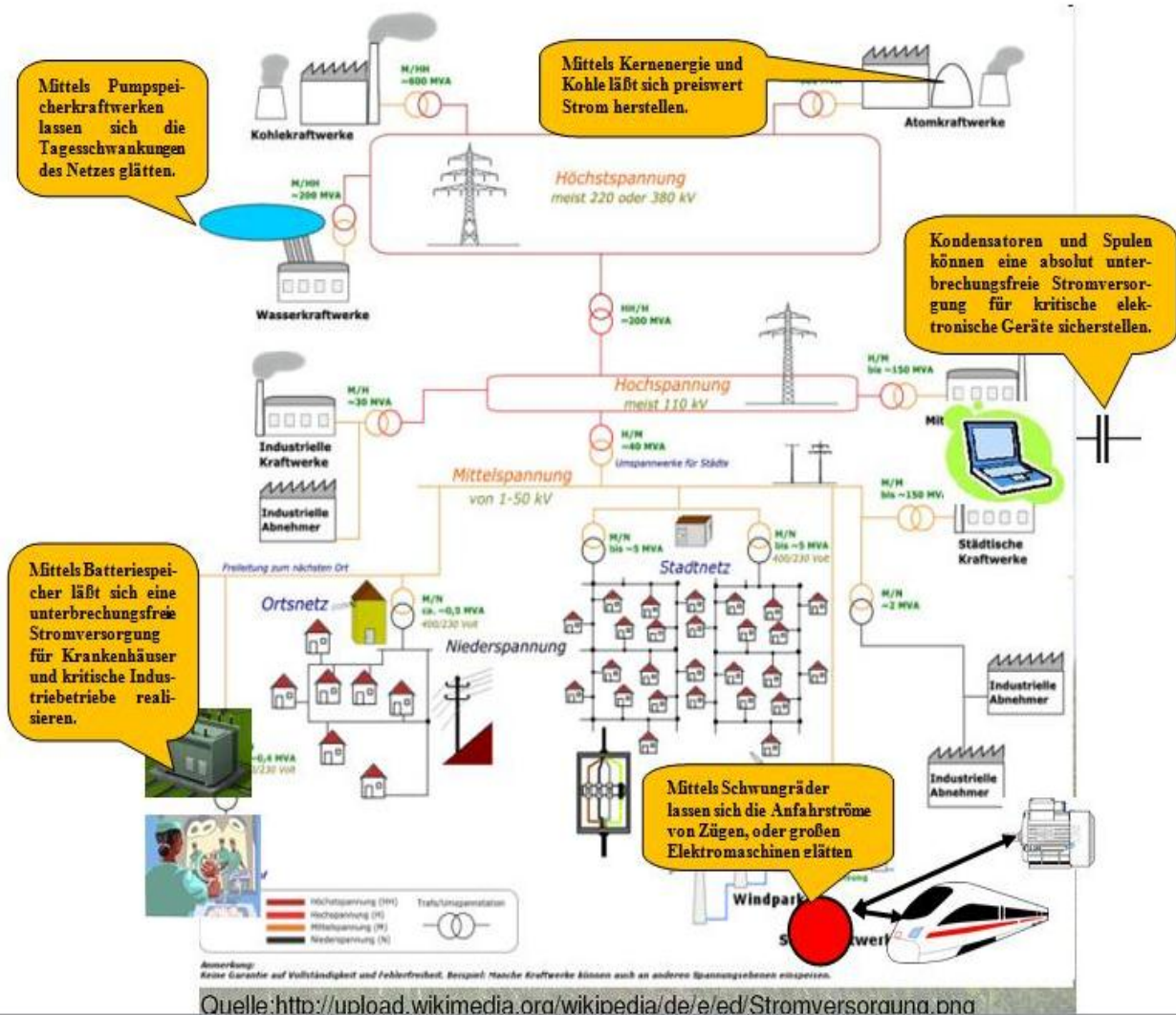


Bild 18

A. Superkondensatoren, 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. Pumpspeicherkra
ftwerke und mit**

Abstrichen

**Druckluftspeicher
eignen sich zum**

**Tagesausgleich der
Stromversorgung.**

**D. Vanadium Redox
Batterien mit
externem Speicher
und**

**Wasserstoffspeiche
r eignen sich am
ehesten zum
Ausgleich der
Erzeugungsschwanku
ngen der Wind- und**

Solarstromproduktion, wobei die Kosten dieser Speicherung ökologisch sind.

**Horst Trummel –
Vandale**

**[www.oekoreligion.net](http://www.oekoreligion.net/page.de)
[page.de](http://www.oekoreligion.net/page.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

Einspeisevergütung

en 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.**

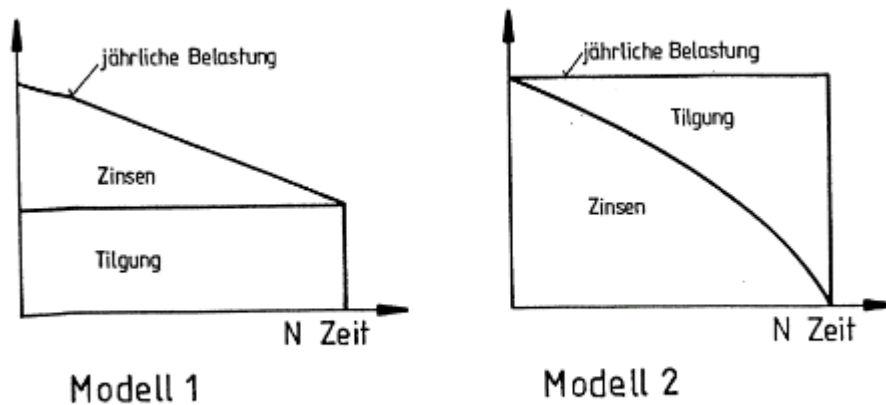


Abb. 10.7: Modelle für Kapitalabschreibung

**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/publikat
ionen,did=53736.ht
ml](http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=53736.html)**

**Bundесwirtsсhaftsm
inisterium**

**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>,

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)	1060	1140	8480	0,80	380	Vattenfall	
Happurg (BY)	160	126	900	0,72	110	E.ON	
Häusern (BW)	144	104	46330	0,70	110	EnBW	
Hohenwarte 1 (TH)	62,75	34	795	0,60	110	Vattenfall	
Hohenwarte 2 (TH)	320	310	2087	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	
Kühltai / Sellrain-Silz (A, Tirol)	289	250		0,73	220	Tiwag	Anteil RWE und EnBW

Langen- prozelten (BY)	168	154	950		110	E.ON	Aus- schließlich 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	
Ltinersee (A, Vorarlberg)	232	224	262 160		220	EnBW / Illwerke/VK W-Gruppe	
Markersbach (SN)	1 050	1 140	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	Aus- schließlich Bahnstrom
Rifa (A, Vorarlberg)	7	8	1 000		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	
Schwarzenbach werk (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

**Kraftwerkseinsatzp
lanung – Einfluss
auf die
Strompreise der
Spitzenlast,
Dissertation
Vanessa Grimm,
Ruhr Uni Bochum,
2007**

**[http://www-brs.ub.
ruhr-uni-
bochum.de/netahtml](http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml)**

**/HSS/Diss/GrimmVan
essa/diss.pdf, S16
10. Siemens PDF zu
Energiespeichern
11. Büro für
Technikfolgenabsch
ätzung beim
Deutschen
Bundestag,
Energiespeicher-
Stand und
Perspektiven,**

**Dagmar Oertel,
S35, S37, S94.
12.**

**Energiespeicher in
Stromversorgungssy
stemen mit hohem
Anteil
erneuerbarer
Energieträger Bede
utung, Stand der
Technik,
Handlungsbedarf 24**

.03.2009

13. <http://www.vde.de/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V1/Aktuelles/0effentlich/Seiten/Energiespeicherstudie-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](http://www.wisoveg.de/rheinland/erft/erft-rb.htm)**

Zugriff 01.

16.

**[http://www-classic
.uni-
graz.at/inmwww/NEU
/lehre/pdf/Energie](http://www-classic.unigraz.at/inmwww/NEU/lehre/pdf/Energie)**

**wirtschaft_WS0506_
Teil2.pdf
Logistik der
Stromerzeugung
Haar&Haar
17.**

**[http://www.energie-
verstehen.de/Energieportal/Navigation/strompreise,did=249606.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-](http://www.landkreis-waldshut.de/landkreis-waldshut/index.php?id=3177)

[waldshut.de/landkr](http://www.landkreis-waldshut.de/landkreis-waldshut/index.php?id=3177)

**[eis-](http://www.landkreis-waldshut.de/landkreis-waldshut/index.php?id=3177)
[waldshut/index.php](http://www.landkreis-waldshut.de/landkreis-waldshut/index.php?id=3177)
[?id=3177](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

Jahresgang 2008,

Der

Urheberrechtsinhab

**er 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-de-r-synergie.de/c_neu_html/c_10_03_e_speichern_batterien_2.htm

**22. Dr. Arman
Nylías FZK.**

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

2012 8,93c/kWh

zzgl.

Systemdienstleistungsbonus

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_stromspeiche
rung-pdf**