

# 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

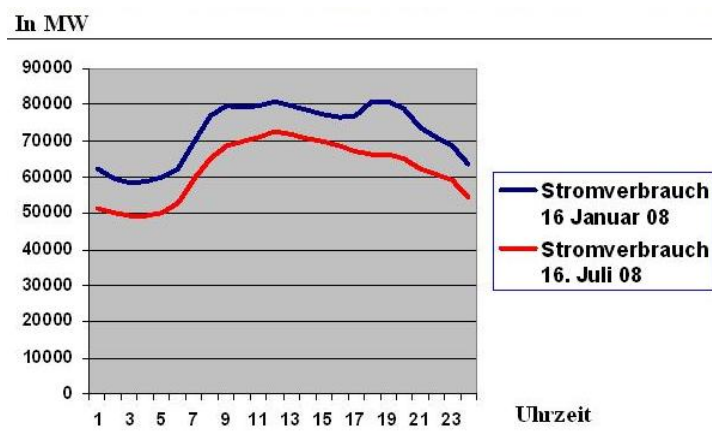
Strom ist der am schwierigsten zu speichernde Energieträger. Deshalb wird Strom üblicherweise über Umwege gespeichert. Die Kosten der Stromspeicherung übertreffen teils die Kosten der Stromerzeugung. Man sucht den Strom

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:

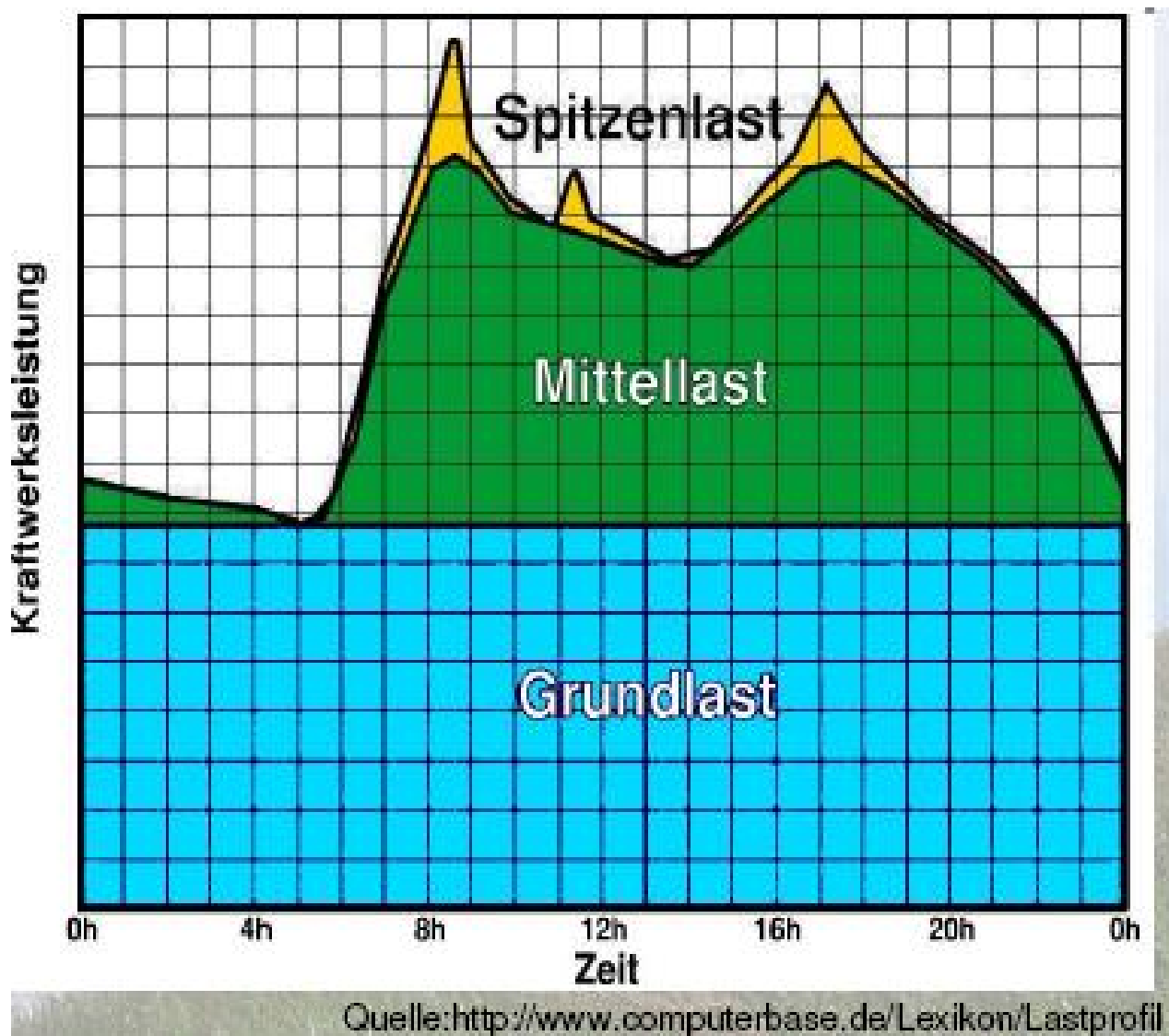


Bild 3

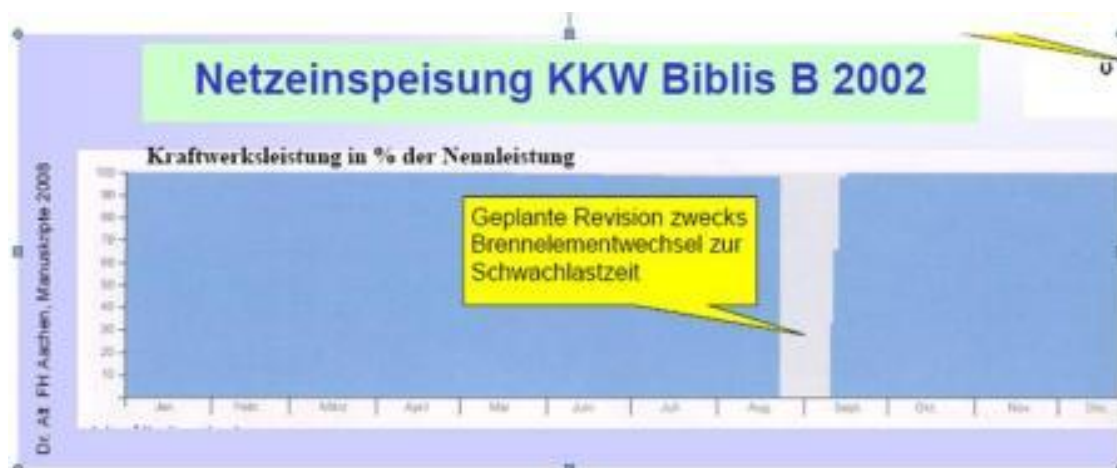
Spitzenlast, Abdeckung auftretender

**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**



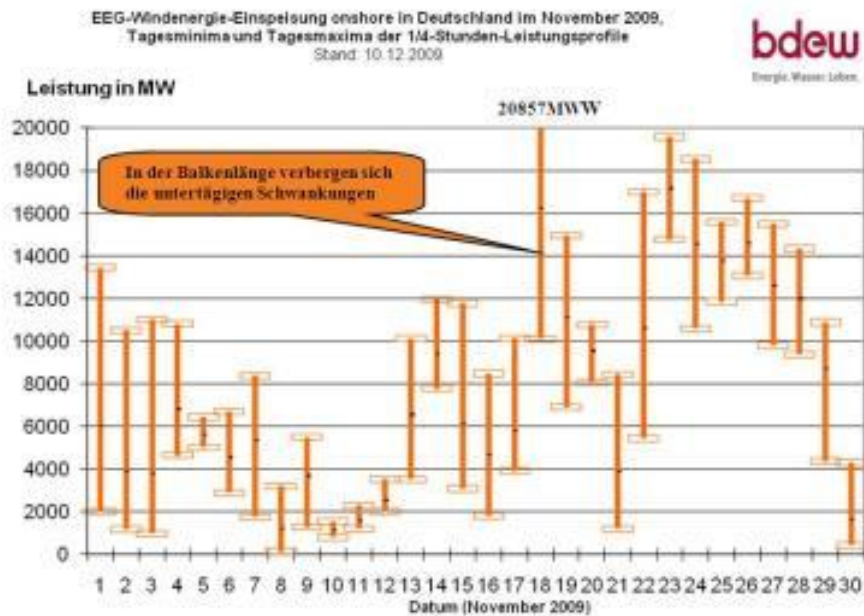
## **Bild 4**

**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**

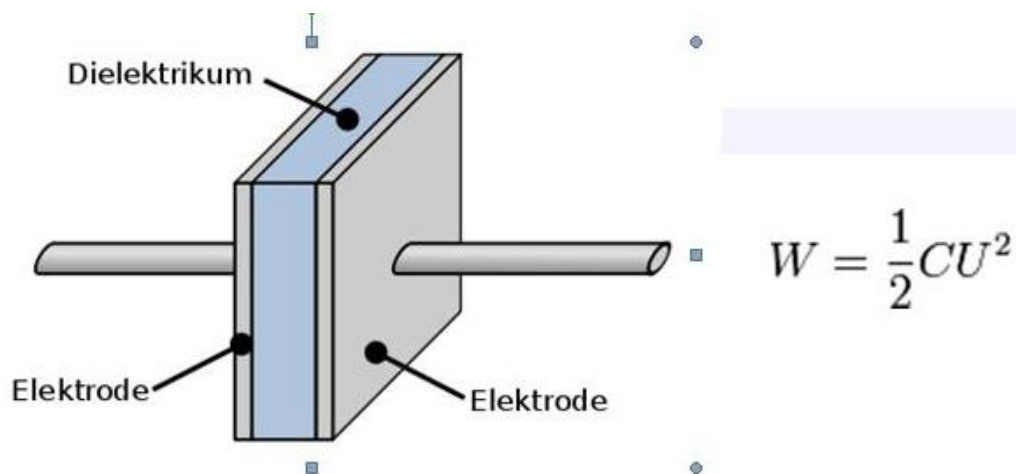
## 2. Stromspeicherung

# 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 Investitionsaufwands, 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.

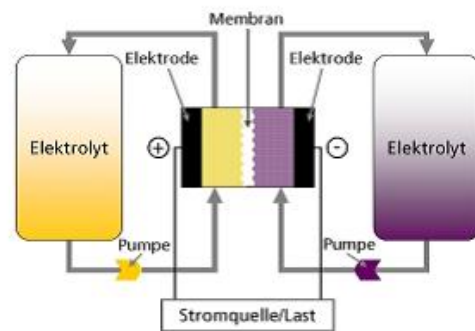


Abbildung 6-4: Schematische Darstellung einer Redox-Flow-Batterie<sup>86</sup>

## 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**

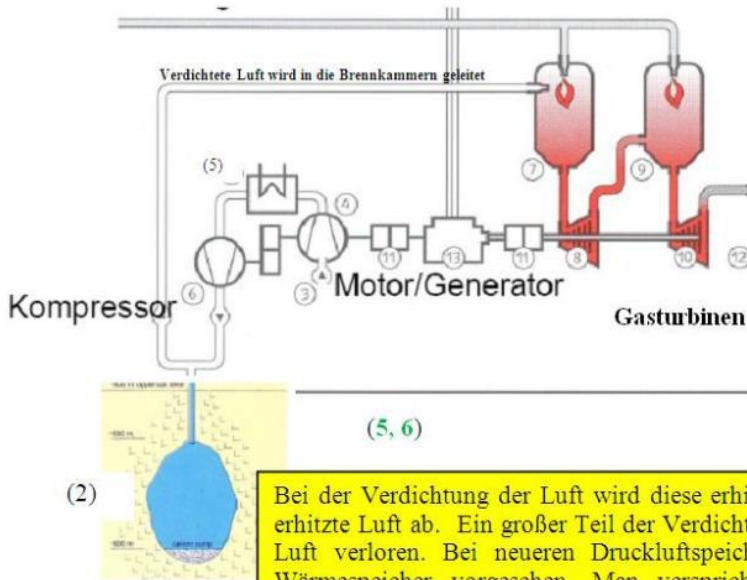
**Erdgasturbinenkraftwerk. Wie in jeder Gasturbine wird Luft verdichtet, jedoch in diesem Fall nicht direkt in die Brennkammer geleitet, sondern bei Stromüberschuss in einen Speicher eingelagert. Bei großem Strombedarf**



**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.

(2) 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**

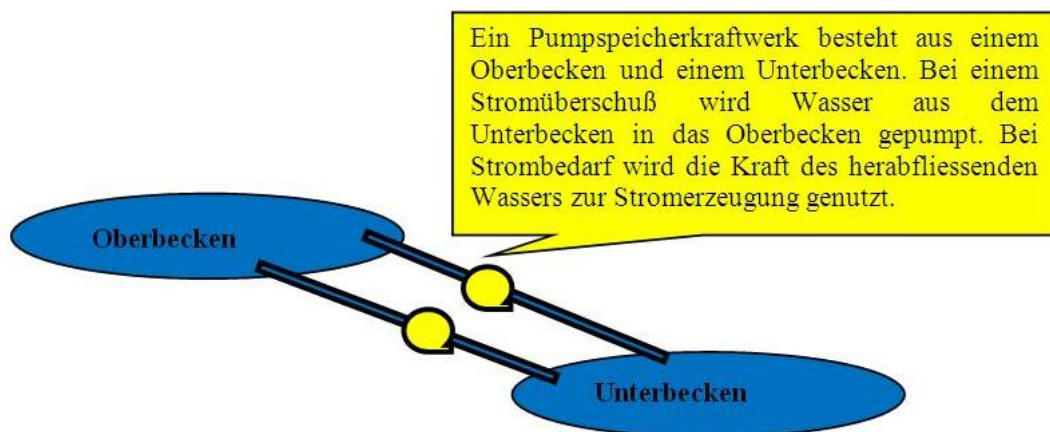
**Energiespeicherung**  
**ist linear abhängig**  
**von der**  
**Höhendifferenz des**



# 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.

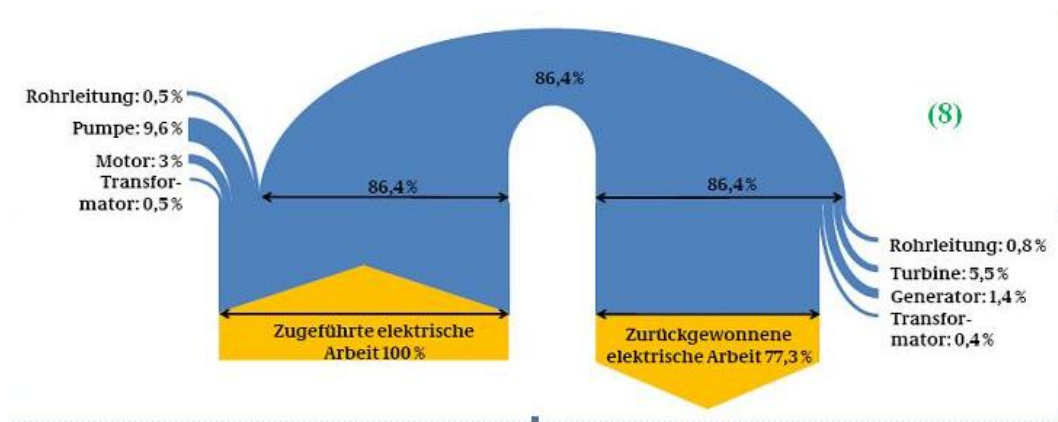


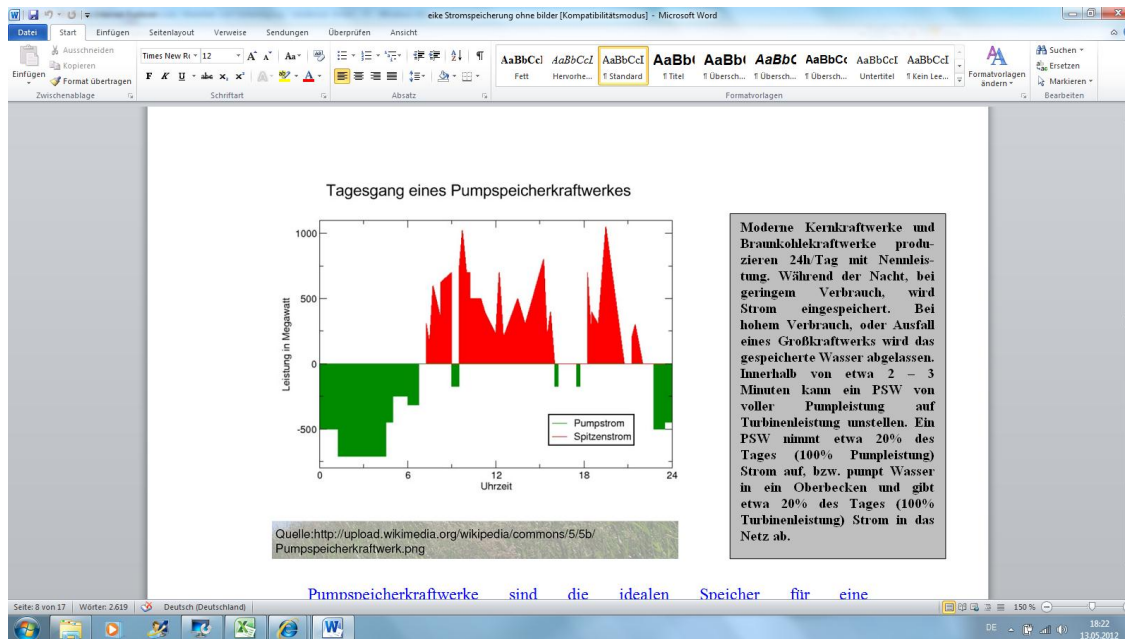
Abbildung 2: Überschlägige Zusammensetzung des Speichernutzungsgrads (Eigene Darstellung auf Basis von Giesecke, J.; Mosonyi, E., 2005, S.649)

## 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  
Pumpspeicherkapazit  
äten nicht aus um  
ein unbegrenztes  
Anwachsen der  
Windstromkapazität  
en 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  
Tagespeicherung  
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.
--	--	--	--

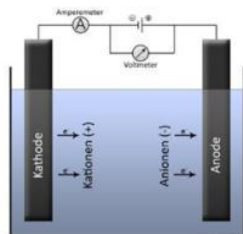
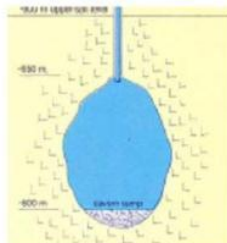
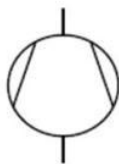


Abbildung 6-6: Grundschemata der Elektrolyse<sup>88</sup>



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.**

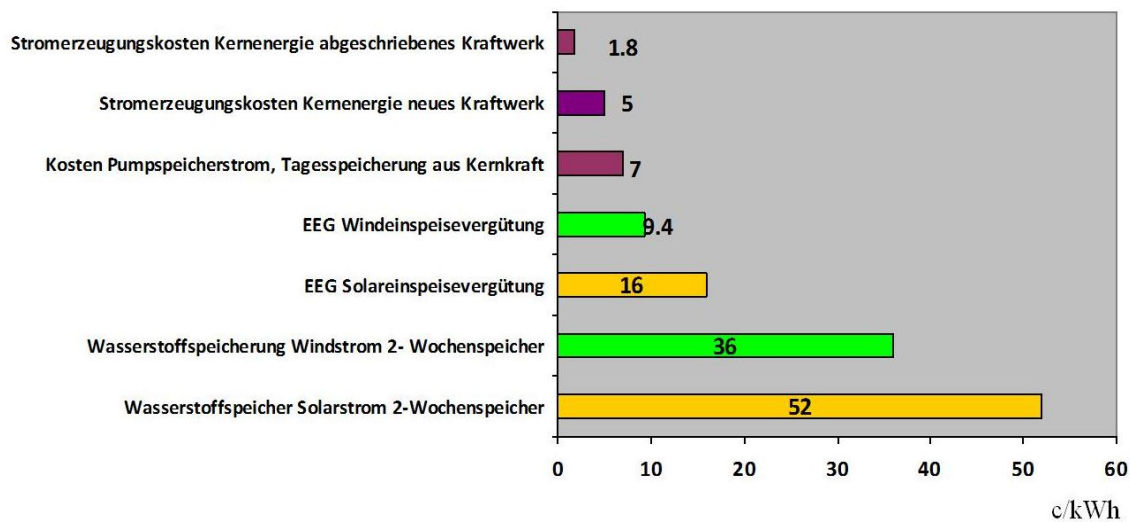
**3.**

# **Zusammenfassung der Kostensituation**

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

# betragen häufig ein Mehrfaches der Stromerzeugung.

Kosten Stromerzeugung und Speicherung



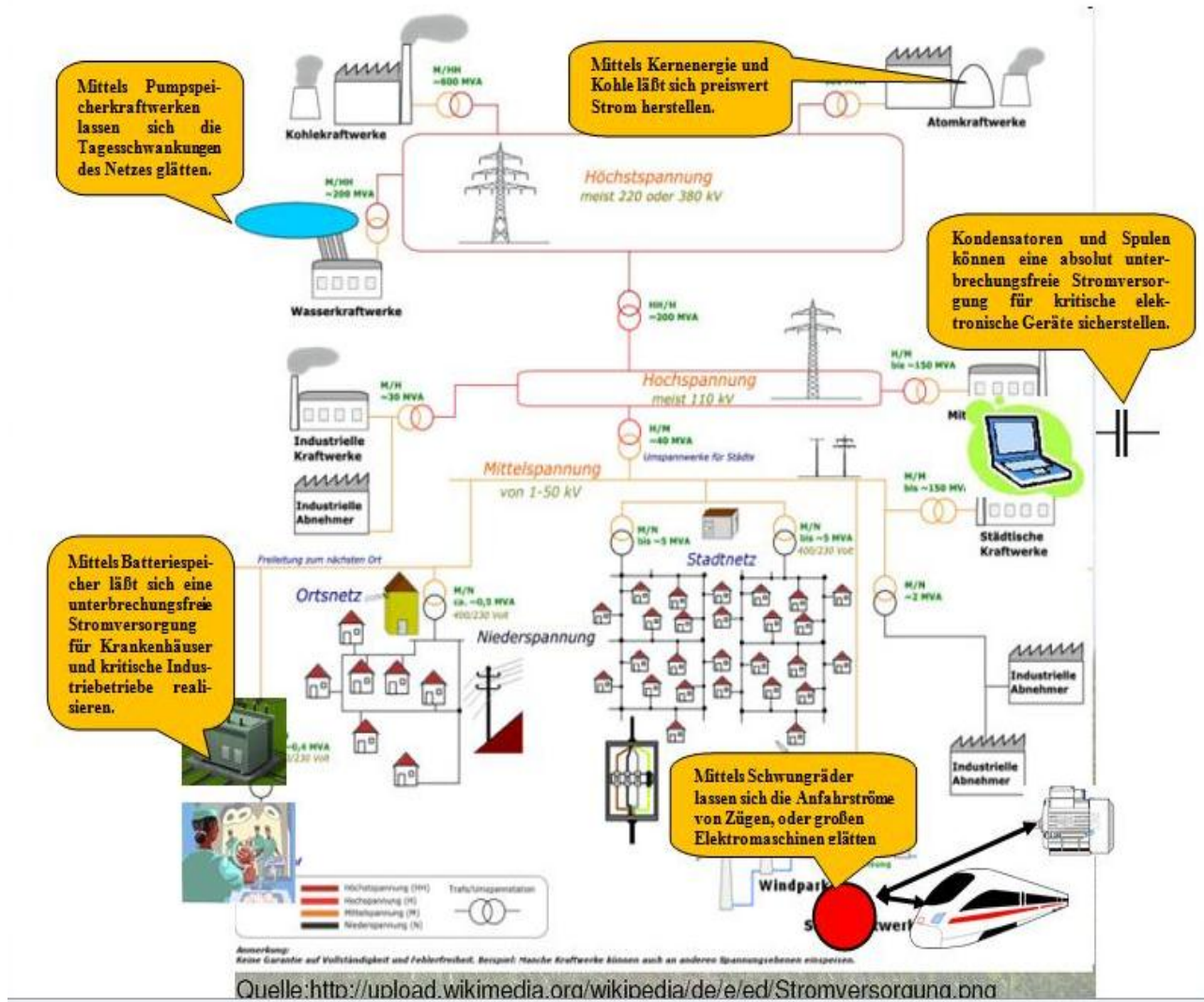
## Bild 17

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

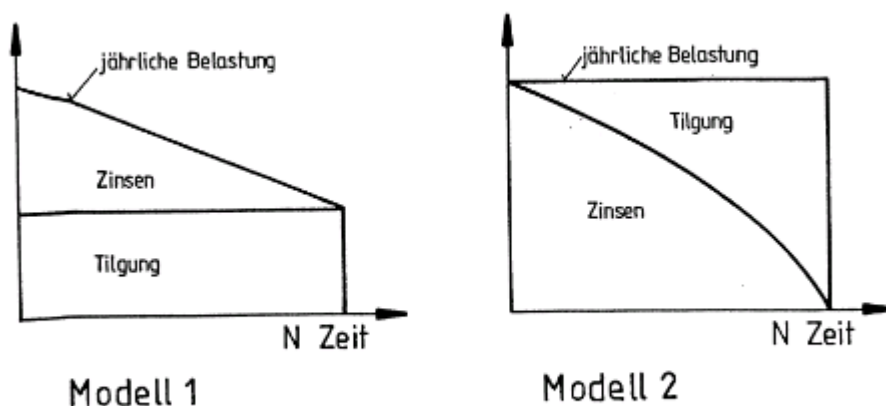


Abb. 10.7: Modelle für Kapitalabschreibung

**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/publikationen,  
did=53736.html](http://de/BMWi/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)	1100	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](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](http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_10_03_e_speichern_batterien_2.htm)

**22. Dr. Arman  
Nylías 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)**

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

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](#)