

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

geschrieben von Trummler, 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

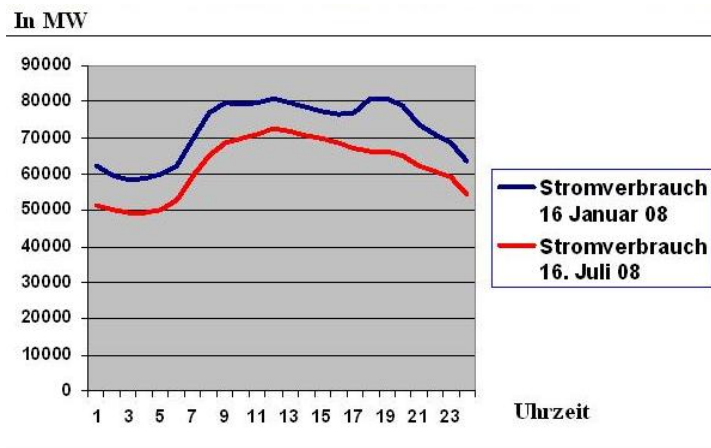
## Zusammenfassung

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.**



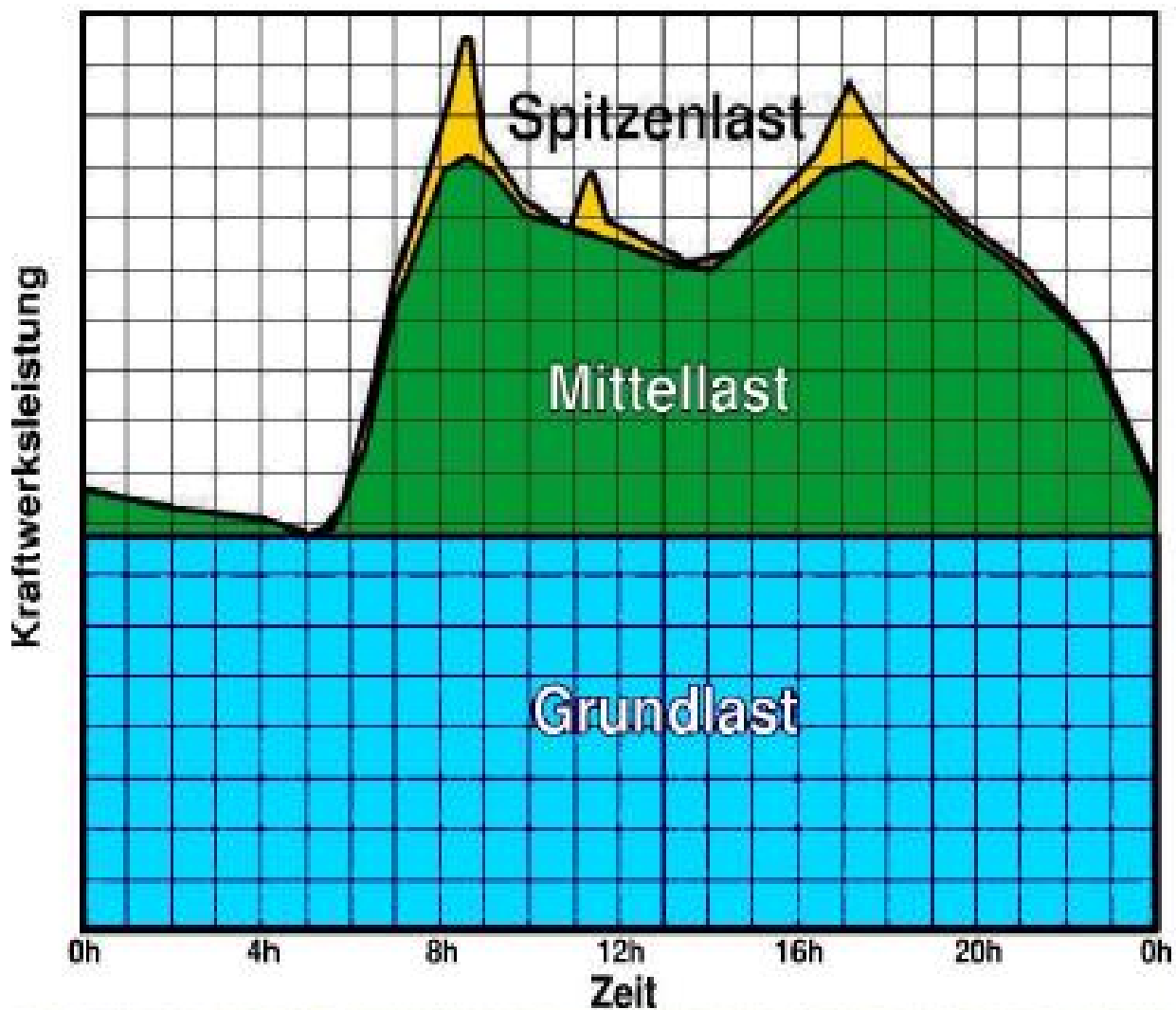
(1)

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:**



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



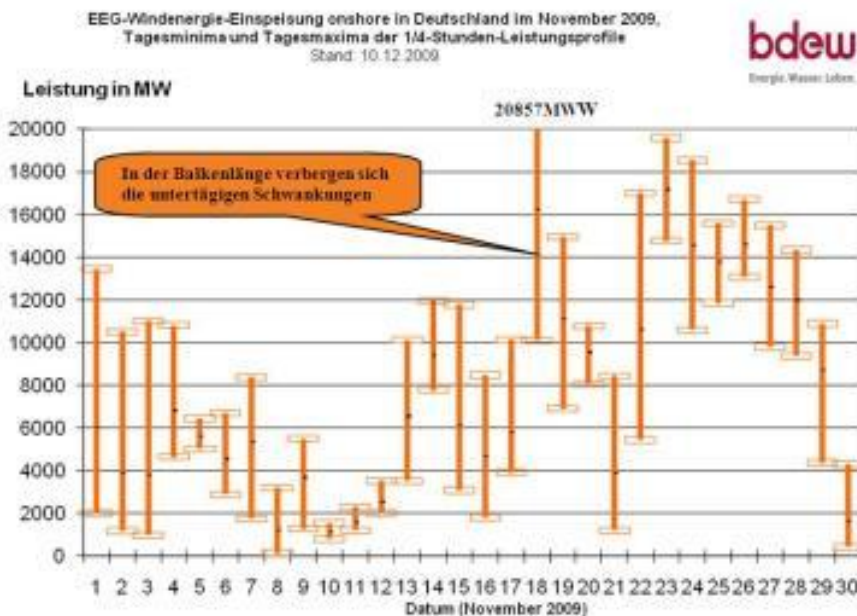
**Bild 4**

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.**

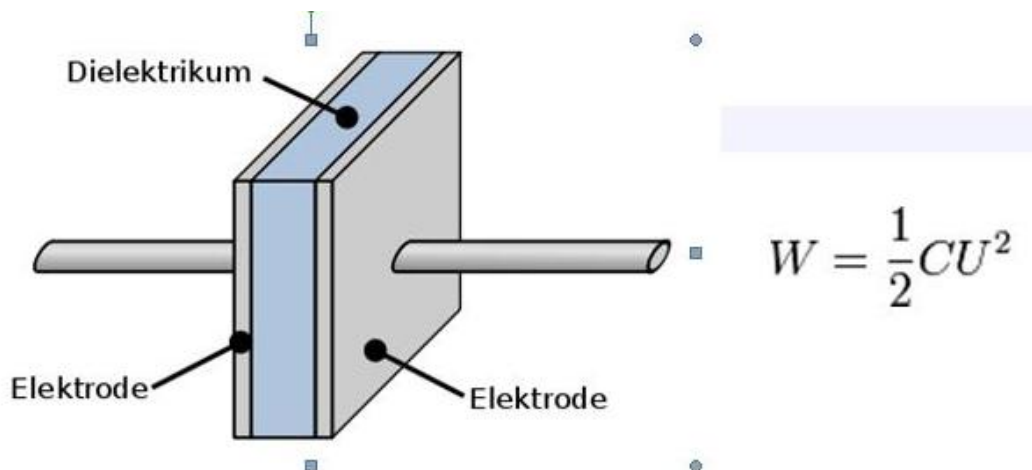
**Stromspeicherung**

**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-  
Zykluszahl 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**

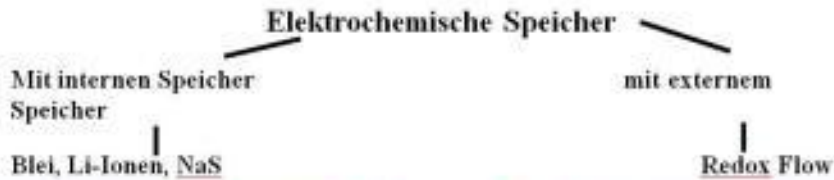
**, oder zur  
Netzstabilisierung  
wird seit  
Jahrzehnten  
praktiziert. In  
der Regel werden  
zu diesem Zweck  
Blei(akku)batterie  
n wie im Automobil  
eingesetzt. In der  
Entwicklung und  
als Prototypen im**

**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



Hohle 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.

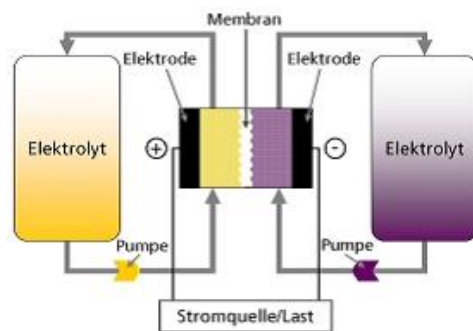


Abbildung 6-4: Schematische Darstellung einer Redox-Flow-Batterie<sup>85</sup>

## 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  
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**

**Speichererkosten 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**

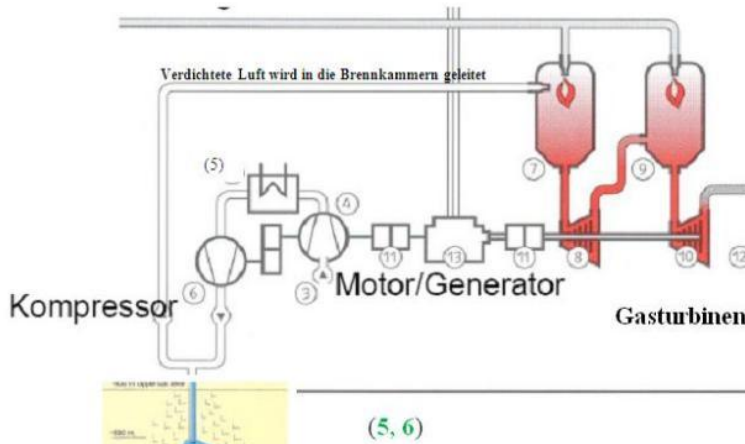


**Erdgasturbinenkraftwerk. Wie in jeder Gasturbine wird Luft verdichtet, jedoch in diesem Fall nicht direkt in die Brennkammer geleitet, sondern bei Stromüberschuss in einen Speicher**

**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.

(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.**

**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)***

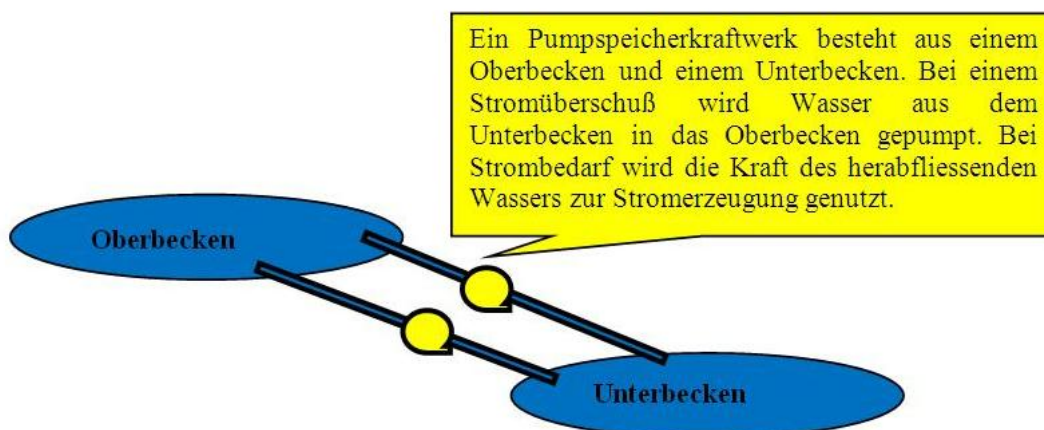
**Die**

**Energiespeicherung**

**ist linear**

# abhängig von der Höhendifferenz des Ober- und Unterbehälters und des Speichervolumens. Schema 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.

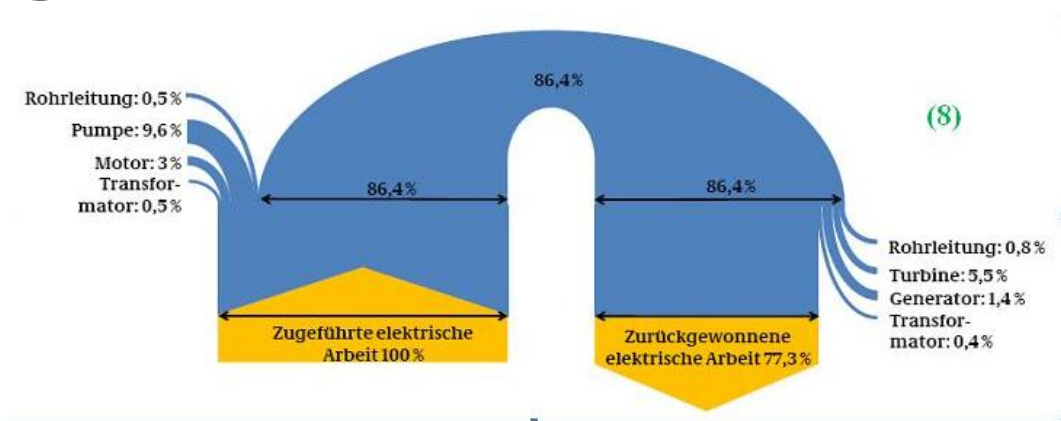
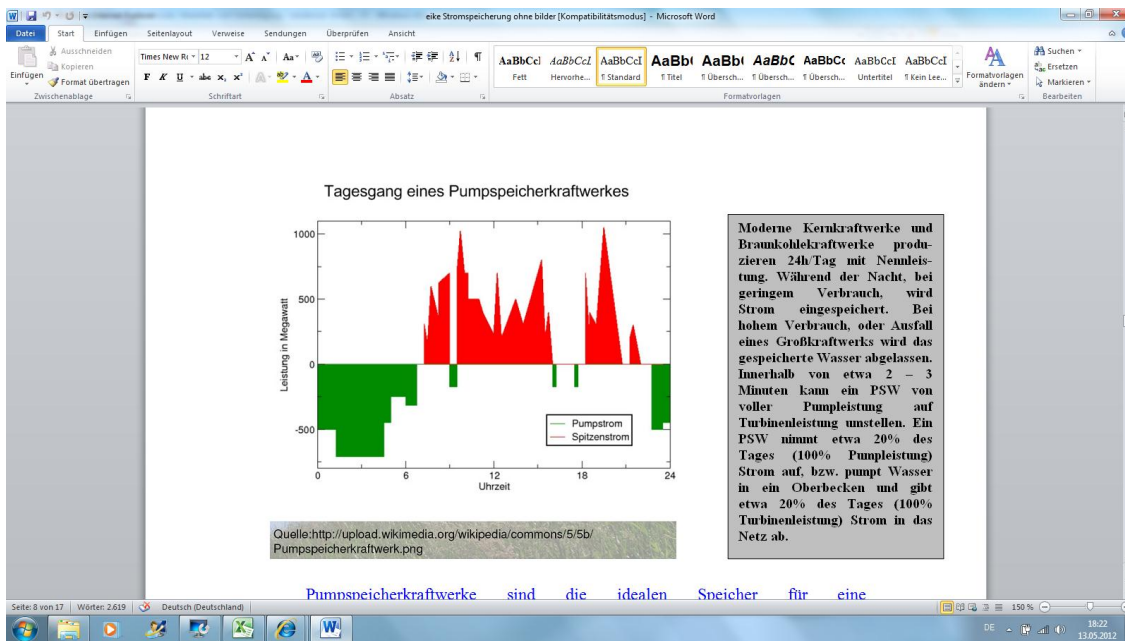


Abbildung 2: Überschlägige Zusammensetzung des Speichernutzungsgrads (Eigene Darstellung auf Basis von Giesecke, J.; Mosonyi, E., 2005, S.649)

## Bild 14

# Pumpspeicherkraftwerke sind die erste Wahl als Tagesstromspeicher . Die Ausnutzung

**der Speicher  
beträgt etwa 20%.  
Das heißt ein  
Pumpspeicherkraftwerk  
liefert etwa  
20% des Tages  
Volllast.  
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**

**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  
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  
Tagesspeicherung.  
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  
erträglichem  
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.
---------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

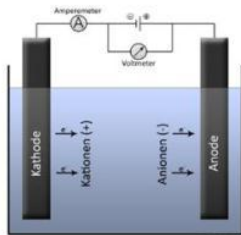
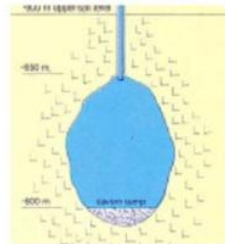
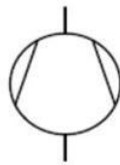


Abbildung 6-6: Grundschemata der Elektrolyse<sup>88</sup>



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) 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 Pumpspeicherkraftwerken hohen Energiedichte von Wasserstoff, ist die Speicherung größerer Energiemengen bei**

**geringem**

**Platzbedarf**

**möglich.**

**Zykluskosten**

**Wasserstoffspeicher**

**r**

**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.**

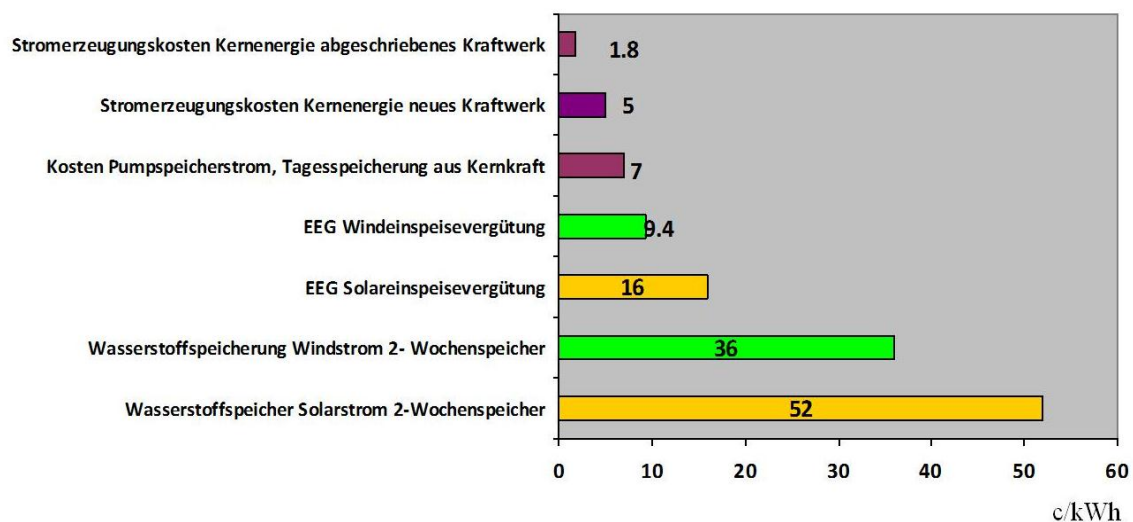
**3.**

# **Zusammenfassung der Kostensituation**

**Die Kosten des  
Stroms, der**

# Speicherung und der Speicherverluste betragen häufig ein Mehrfaches der Stromerzeugung.

Kosten Stromerzeugung und Speicherung

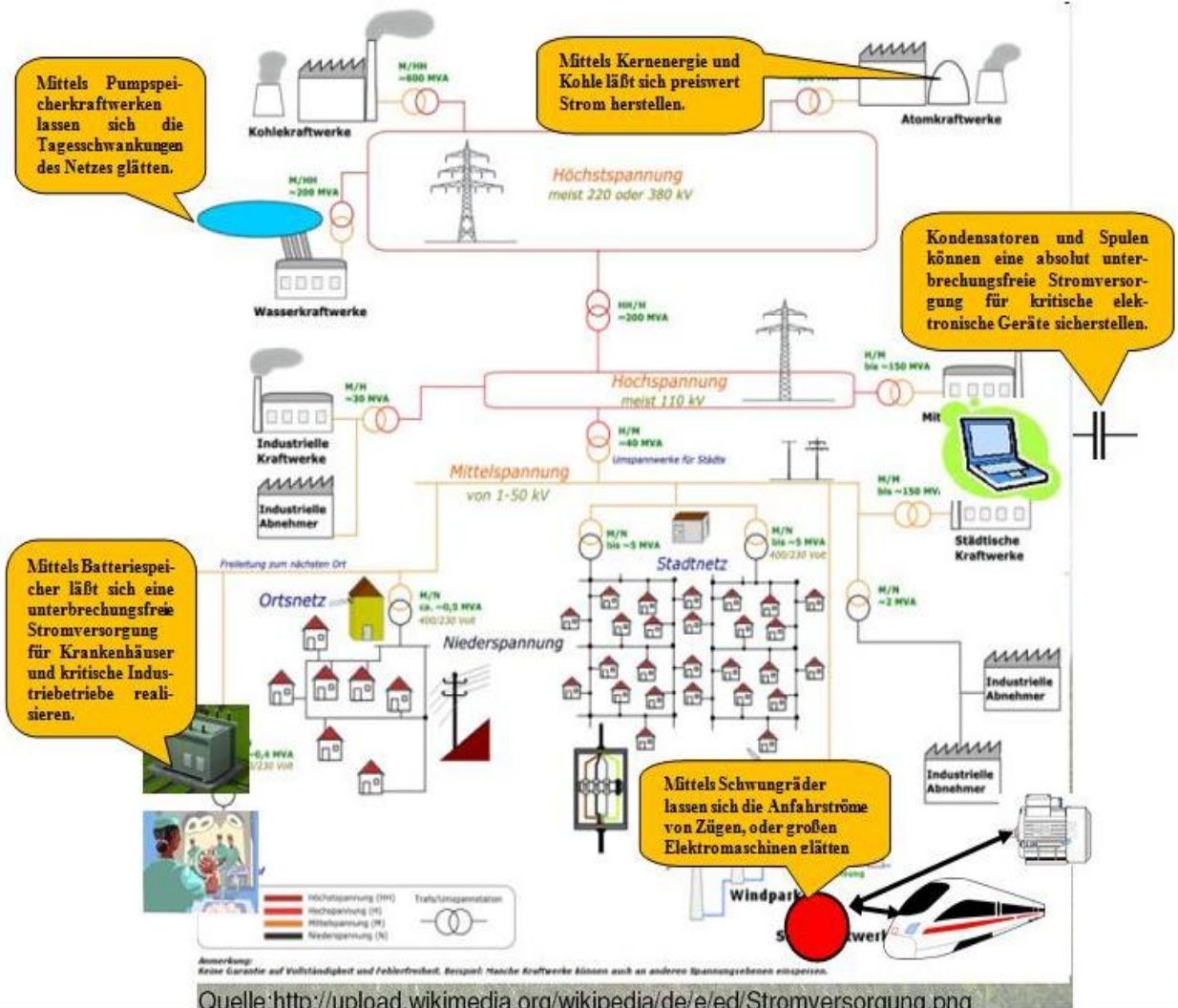


**Bild 17**  
**Zu den oben**

**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 Trummler –  
Vandale**

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

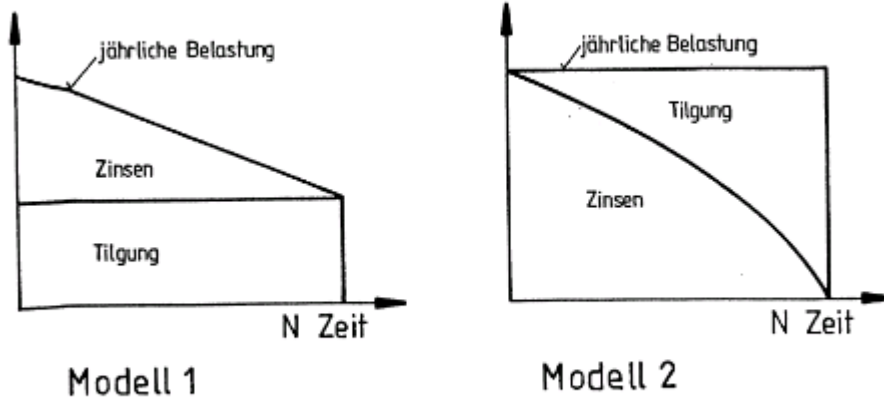


Abb. 10.7: Modelle für Kapitalabschreibung

**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)**

**Bundeswirtschaftsm  
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

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	
Ltnersee (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	Ausschließlich 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	
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

**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  
Stromversorgungssystemen mit hohem**

**Anteil**

**erneuerbarer**

**Energieträger Bedeutung, 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.uni-graz.at/inmwww/NEU/lehre/pdf/Energie)**

**wirtschaft\_WS0506\_**

**Teil2.pdf**

**Logistik der**

**Stromerzeugung**

**Haar&Haar**

**17.**

**[\*\*-\*\*](http://www.energie</a></b></p></div><div data-bbox=)**

**[verstehen.de/Energ](http://www.energieportal/Navigation/strompreise,did=249606.html)**

**[ieportal/Navigation](http://www.energieportal/Navigation/strompreise,did=249606.html)**

**[n/strompreise,did=](http://www.energieportal/Navigation/strompreise,did=249606.html)**

**[249606.html](http://www.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**

**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.**

**[\*\*\[html/c\\\_10\\\_03\\\_e\\\_speichern\\\_batterien\\\_2  
.htm\]\(http://www.buch-de-r-synergie.de/c\_neu\_html/c\_10\_03\_e\_speichern\_batterien\_2.htm\)\*\*](http://www.buch-de-r-<br/>synergie.de/c_neu_</a></b></p></div><div data-bbox=)**

**22. Dr. Arman**

**Nylías FZK.**

**23. Gem. dieser**

**Quelle trägt 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)**

<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>
<b>Ab 01.05.2012</b>	<b>19,31 Cent</b>	<b>16,34 Cent</b>	<b>13,37 Cent</b>
<b>Ab 01.06.2012</b>	<b>19,12 Cent</b>	<b>16,18 Cent</b>	<b>13,24 Cent</b>

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**