

# Stromspeicherung



Foto Stefan, Speichersee

## 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.

## Zusammenfassung

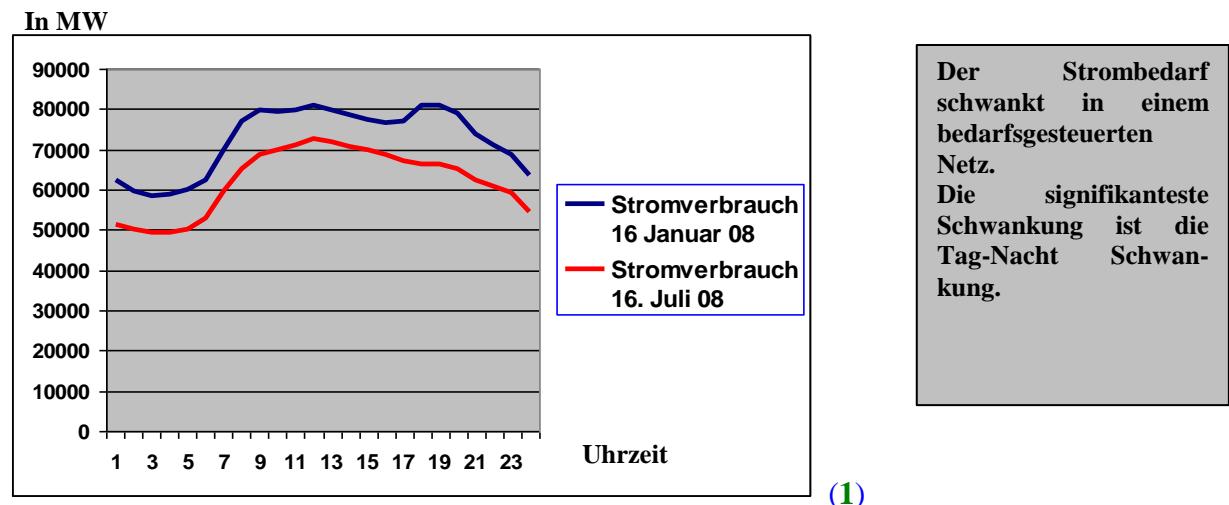
Strom ist der am schwierigsten zu speichernde Energieträger. Deshalb wird Strom üblicherweise über Umwege gespeichert. Die Kosten der Stromspeicherung übertreffen teils die Kosten der Stromerzeugung. Man sucht den Strom bedarfsgerecht herzustellen. Innovative Kondensatorkonzepte und Schwungräder bieten 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.

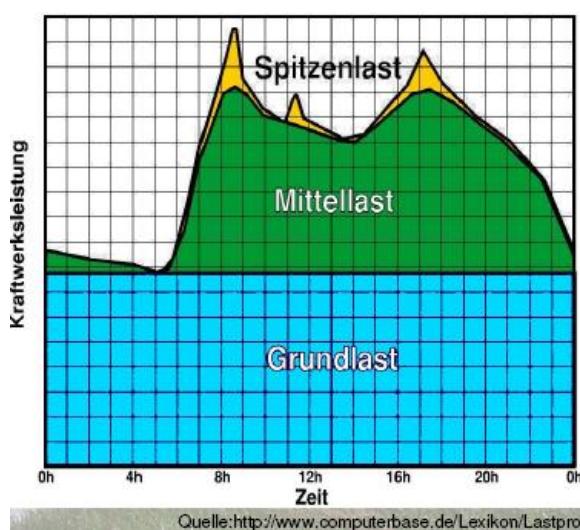
## 1. Strombedarf in Deutschland

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.



### 1.1 Stromerzeugung

Der konventionelle Stromerzeugung in Deutschland teilt sich auf in:



**Spitzenlast**, Abdeckung auftretender Lastspitzen. Hierzu eignen sich schnell regelbare Gasturbinen und Speicherwerkwerke

**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.

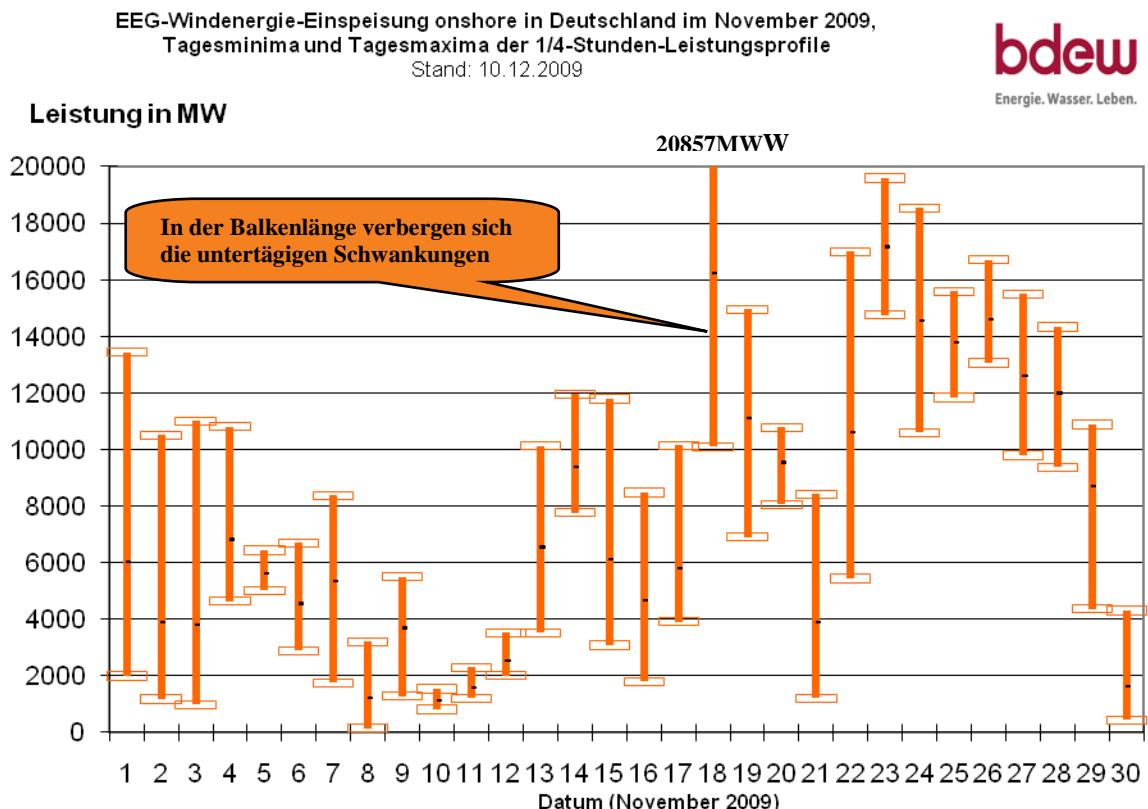
Als Beispiel, Stromeinspeisung eines Kernkraftwerks



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.

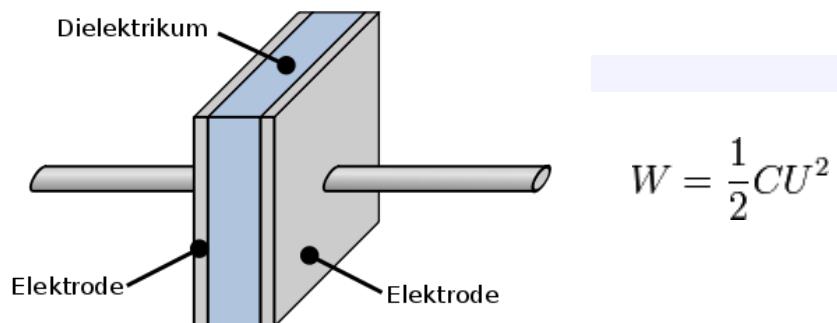


Eine Tagesspeicherung des umweltschädlichen Windstroms kann die gröbsten Schwankungen der Windstromeinspeisung einebnen. Um jedoch mittels Windkraft konventionelle Kraftwerke zu ersetzen bedürfte es einer 2-Wochen, oder Monatsspeicherung.

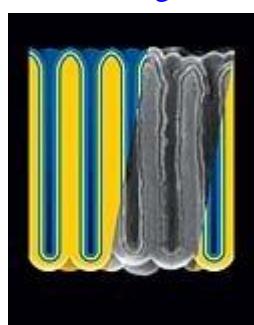
## 2. Stromspeicherung

### 2.1 Kondensatoren

In Kondensatoren wird elektrische Ladung zwischen zwei durch ein Dielektrikum getrennte Elektroden gespeichert. Die gespeicherte Energie folgt der Formel:



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 kW/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 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.

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

$L = \text{Induktivität, } I = \text{Strom}$

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 Speichertechnologien hohe Selbstentladerate von etwa 10-12% pro Tag auf. Hohe Wirkungsgrade lassen sich nur bei einer Nutzung als Kurzzeitspeicher erzielen...*

*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... (11, S94)*

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 unterbrechungsfreien Stromversorgung.**

## 2.3 Mechanische Energiespeicher - Schwungrad



(6)

400 kWh, 167 MW, about 9 s

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)

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 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 Pumpspeicherwerkten*).

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.**

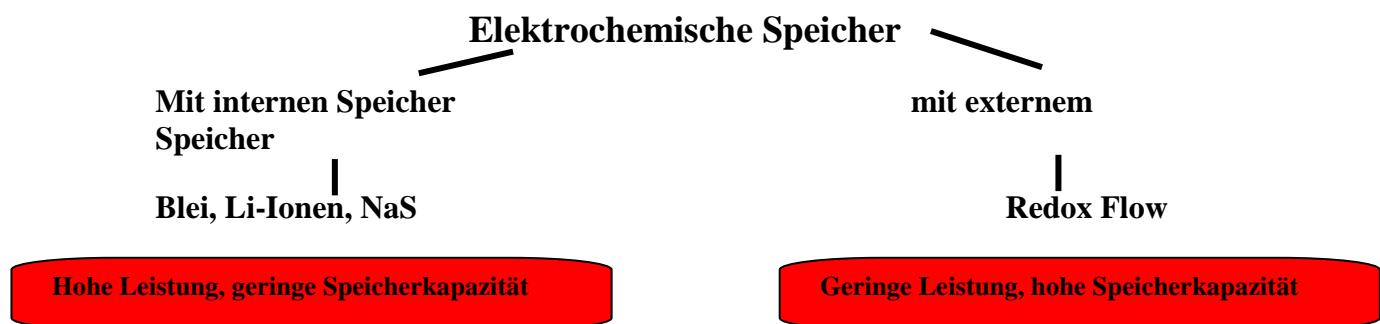
## 2.4 Elektrochemische (Batterie) Speicherung

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 Vandium Redoxflowbatterien.

(6)



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



Batterien mit internem Speicher dienen vor allem der Kurzzeitspeicherung, während Redoxbatterien mit einem großen, externen Speicher für eine Wochen, 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...

..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 Speicherdimensionierung (Vollaststunden >8h) an.

(8)

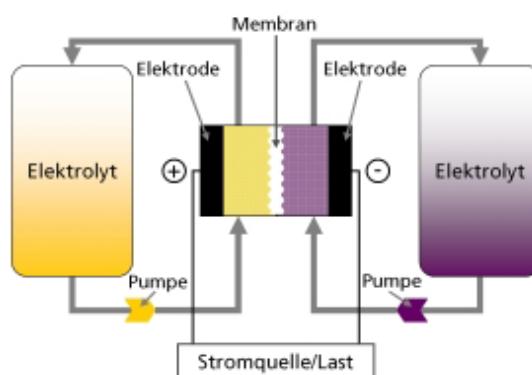


Abbildung 6-4: Schematische Darstellung einer Redox-Flow-Batterie<sup>86</sup>

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**.

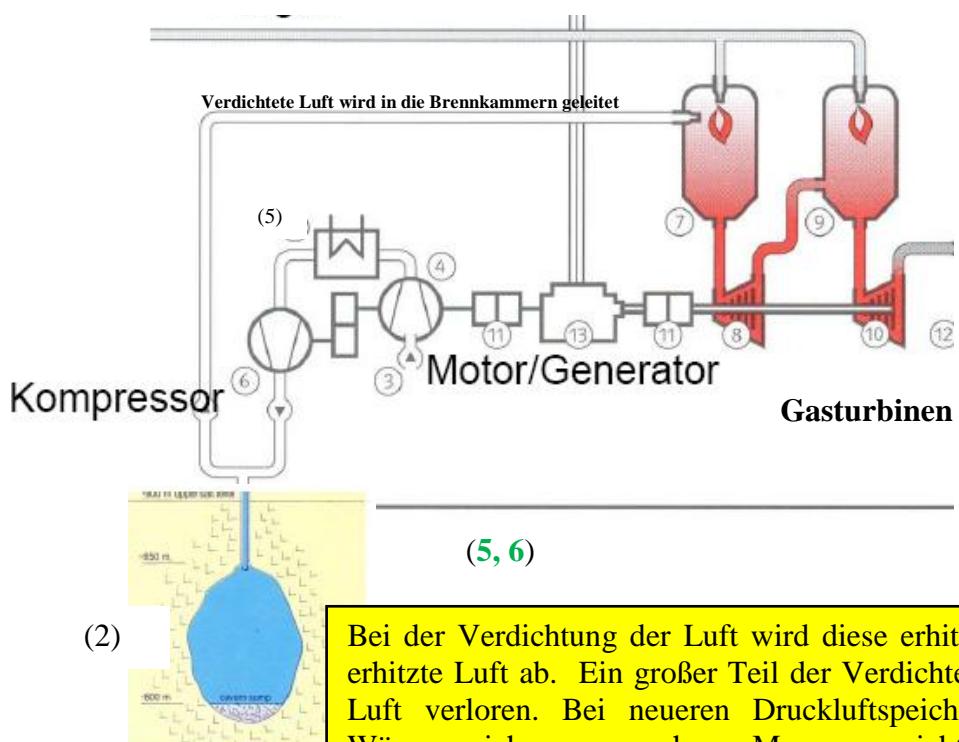
Bei einem Wirkungsgrad von 75% und Preisen für Windstrom von 9,4c/Kwh, bzw. Solarstrom von 16c/Kwh, ergibt sich ein **Speicherstrompreis von 23c/KWh für gespeicherten Windstrom und 31c/Kwh für gespeicherten Solarstrom. Die Kosten für Strom aus Kohle und Kernkraft betragen 1,5 – 5c/KWh!** Die Netzkosten und Verluste bleiben hierbei unberücksichtigt.

## 2.5 Druckluftspeicherkraftwerke

In Norddeutschland gibt es wenige Berge die mit ihren Höhenunterschieden die Einrichtung von Pumpspeicherkraftwerken 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 Druckluftspeicherkraftwerk 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)



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%

Aufgrund der Verwendung des teuren Brennstoffs Erdgas, des niedrigen Wirkungsgrads der Druckluftspeicherung, wird der Speicher Huntsdorf soweit wie möglich genutzt. Eine Druckluftspeicherung ist möglich, ist allerdings nicht die erste Wahl. Druckluftspeicher lassen sich mit einer großen Speicherkaverne als 14-Tage Speicher zur Nutzbarmachung „Erneuerbarer Energien“ nutzen.

## 2.6 Pumpspeicherkraftwerke

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.

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

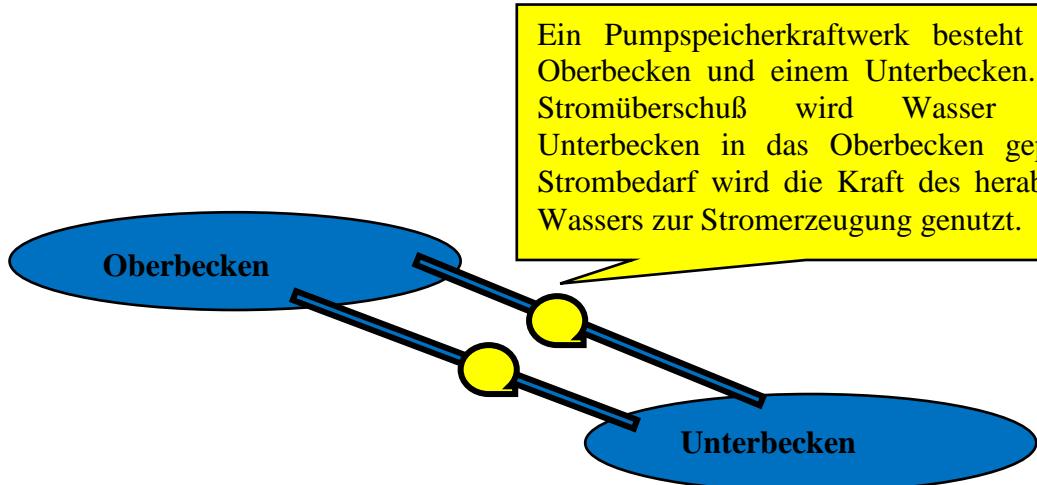
(8)

Physikalisch ergibt sich die Energiespeicherung aus:

$$W = D \times g \times \Delta H \times V \quad (\text{Dichte des Wassers} \times \text{Erdbeschleunigung} \times \text{Höhendifferenz} \times \text{Speichervolumen})$$

Die Energiespeicherung ist linear abhängig von der Höhendifferenz des Ober- und Unterbehälters und des Speichervolumens.

**Schema Speicherwerk:**



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

(8)

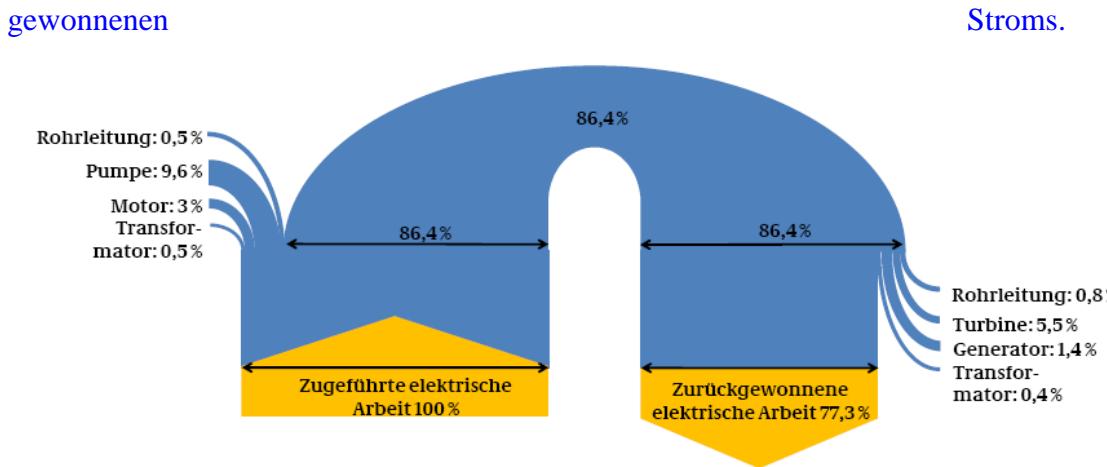
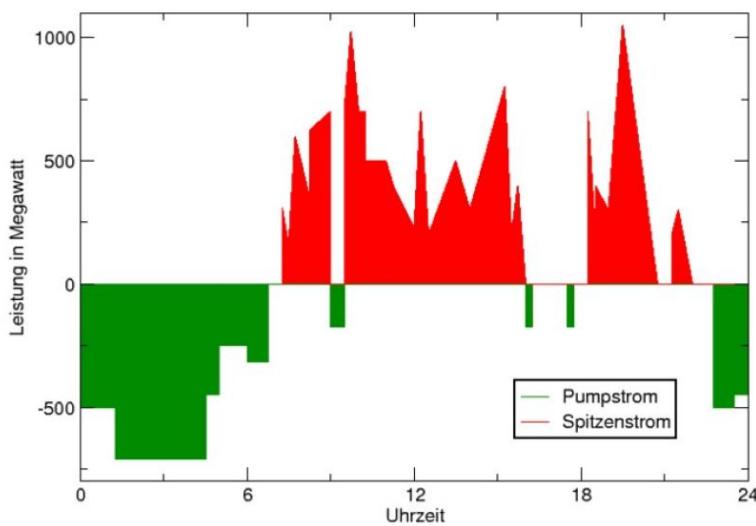


Abbildung 2: Überschlägige Zusammensetzung des Speichernutzungsgrads (Eigene Darstellung auf Basis von Giesecke, J.; Mosonyi, E., 2005, S.649)

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.

### Tagesgang eines Pumpspeicherkraftwerkes



Quelle: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/Pumpspeicherkraftwerk.png>

Moderne Kernkraftwerke und Braunkohlekraftwerke produzieren 24h/Tag mit Nennleistung. Während der Nacht, bei geringem Verbrauch, wird Strom eingespeichert. Bei hohem Verbrauch, oder Ausfall eines Großkraftwerks wird das gespeicherte Wasser abgelassen. Innerhalb von etwa 2 – 3 Minuten kann ein PSW von voller Pumpleistung auf Turbinenleistung umstellen. Ein PSW nimmt etwa 20% des Tages (100% Pumpleistung) Strom auf, bzw. pumpt Wasser in ein Oberbecken und gibt etwa 20% des Tages (100% Turbinenleistung) Strom in das Netz ab.

Pumpspeicherkraftwerke sind die idealen Speicher für eine Tagesstromspeicherung und ergänzen den Einsatz von Kohlekraftwerken und umweltfreundlichen Kernkraftwerken. Pumpspeicherkraftwerke können beim Einsatz umweltschädlicher Windmühlen einen Beitrag zur Milderung von

Erzeugungsspitzen leisten. Allerdings reichen die Pumpspeicherkapazitäten nicht aus um ein unbegrenztes Anwachsen der Windstromkapazitäten auszugleichen.

### **Zykluskosten Pumpspeicherwerk 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 Pumpspeicherwerke Goldisthal und Atdorf haben Speicherkapazitäten von knapp 8 und 9 Stunden. Bei einer Tagesspeicherung mit 20% Vollast – Speicher und Leistungsbetrieb ergeben sich Speicher Kosten von **3c/KWh**.

Bei einem 2 Wochenzyklus und 9h Speicherkapazität ergibt sich eine Auslastung von 2,7%. Damit betragen die Speicher Kosten **23c/KWh**. Aufgrund der geringen Speicherkapazität der realen PSW- Kraftwerke betragen die Kosten einer 2 Wochenspeicherung zig-faches einer Tagesspeicherung.

**Pumpspeicherwerke 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 Speicher Kosten 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 (b) betragen **44c/KWh** zuzüglich der Netzkosten und Verluste.

Wind- und Solarstrom lässt sich auch mit Pumpspeicherwerken zu Grundlaststrom konvertieren. Allerdings sind die Kosten ökologisch.

Die Pumpspeicherwerkskapazität 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 lassen 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 Wasserstoffspeicherung

Überschüsstrom 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.
---	--	--	--

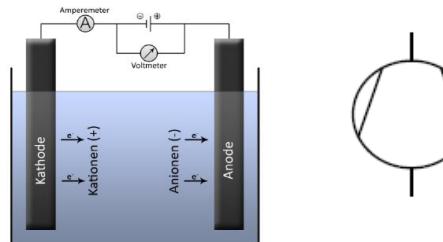
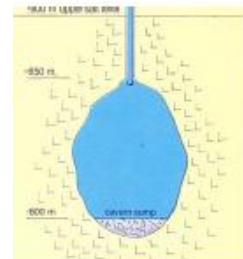


Abbildung 6-6: Grundschema der Elektrolyse<sup>88</sup>



Alternativ ließe sich der Wasserstoff an die chemische Industrie verkaufen

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.

**Einsatzmöglichkeiten.** Der Wirkungsgrad ist mit 30 – 40% sehr niedrig. Auf Grund der im Vergleich zu Druckluft- oder Pumpspeicherwerkten hohen Energiedichte von Wasserstoff, ist mit Wasserstoff die Speicherung größerer Energiemengen bei geringem Platzbedarf möglich. (8)

### Zykluskosten Wasserstoffspeicher

Aus der Investitionssumme von 2500 €/KW Leistung (*Die Größe der Kaverne ist nicht maßgebend für die Kosten einer Wasserstoffspeicherung*), 30 Jahren, Abschreibungsdauer, 5% Zins, 6,5% Annuität und 2% Betriebskosten ergeben sich bei einer Nutzung von 20% Vollasteinspeicherung 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.

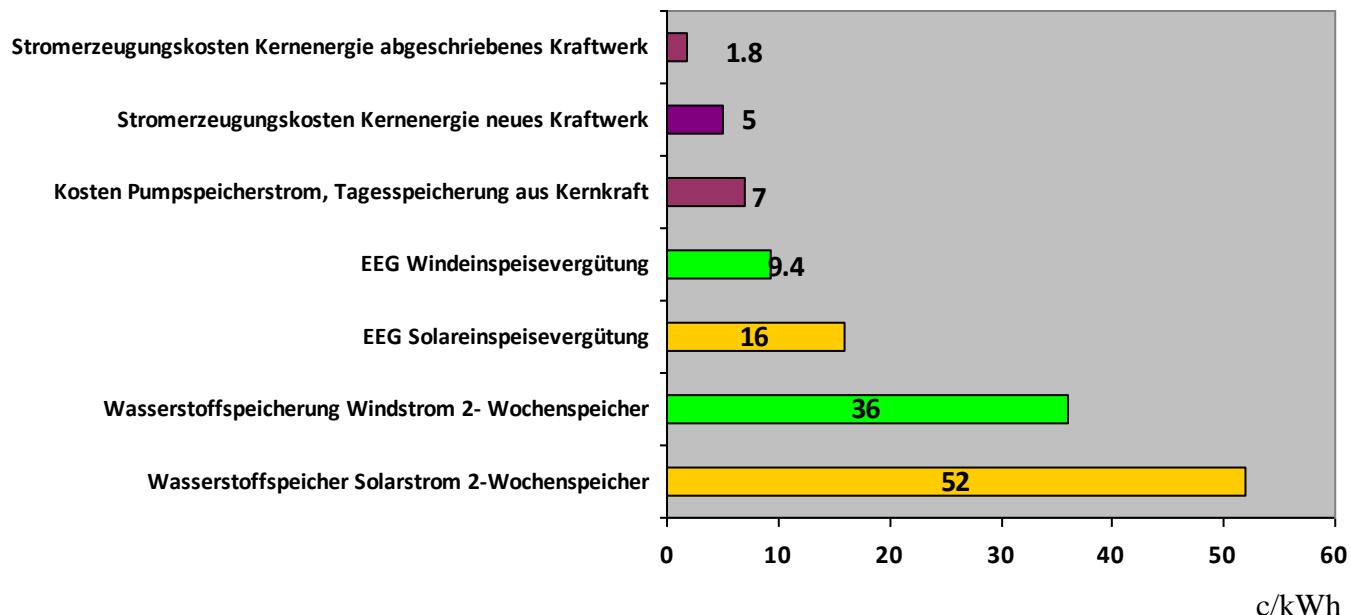
Die Kosten für gespeicherten Strom aus Solarstrom, 2 Wochenspeicher, Strompreis gem. EEG 16c/kWh (**b**), Wirkungsgrad 40%, betragen **52c/kWh** zuzüglich der Netzkosten und Verluste.

Angesichts von Stromerzeugungskosten 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

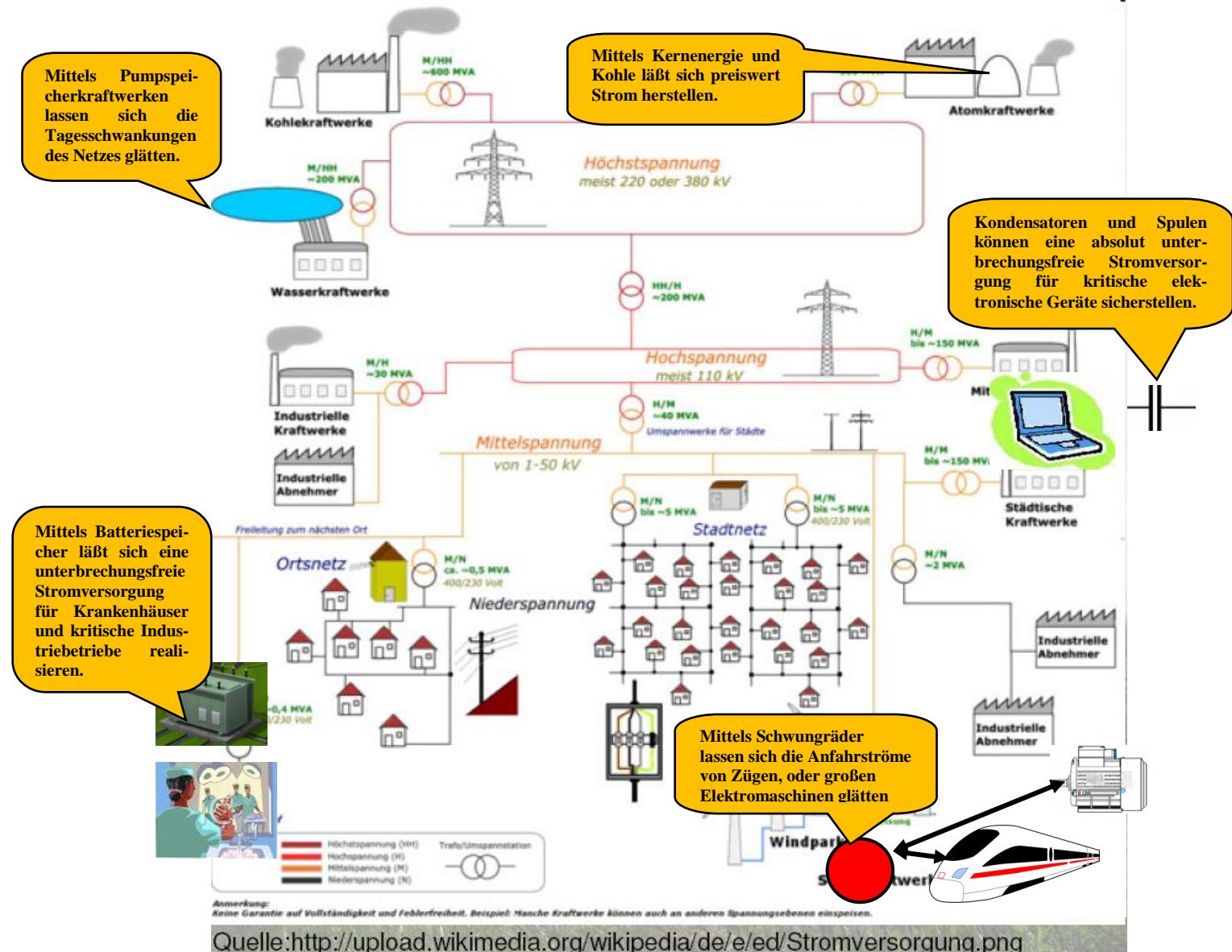
Die Kosten des Stroms, der Speicherung und der Speicherverluste betragen häufig ein Mehrfaches der Stromerzeugung.

## Kosten Stromerzeugung und Speicherung



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 verschiedener Speicher in einem Stromnetz



- Superkondensatoren, Spulen und Schwungräder** eignen sich ideal für eine Kurzzeitspeicherung von Strom und einer Stabilisierung der Stromnetze.
- Batterien** mit internem Speicher eignen sich am Besten für eine Notstromversorgung von Krankenhäusern und Industriebetrieben die auf eine 100% Stromversorgung angewiesen sind.
- Pumpspeicherkraftwerke** und mit Abstrichen **Druckluftspeicher** eignen sich zum Tagesausgleich der Stromversorgung.
- Vanadium Redox Batterien mit externem Speicher und Wasserstoffspeicher** eignen sich am ehesten zum Ausgleich der Erzeugungsschwankungen der Wind- und Solarstromproduktion, wobei die Kosten dieser Speicherung ökologisch sind.

### 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 Einspeisevergütungen 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.

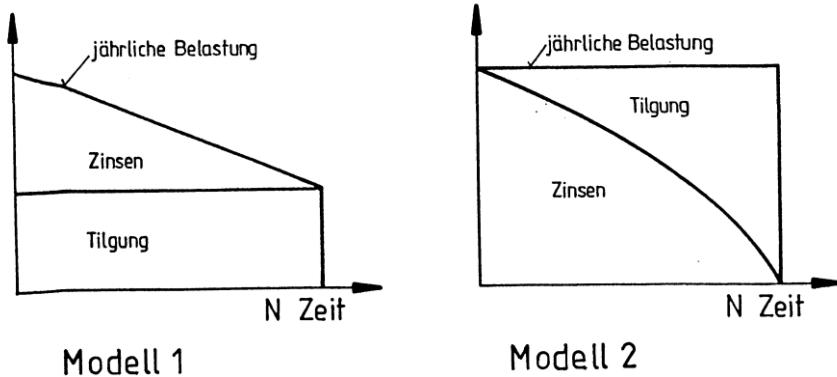


Abb. 10.7: Modelle für Kapitalabschreibung

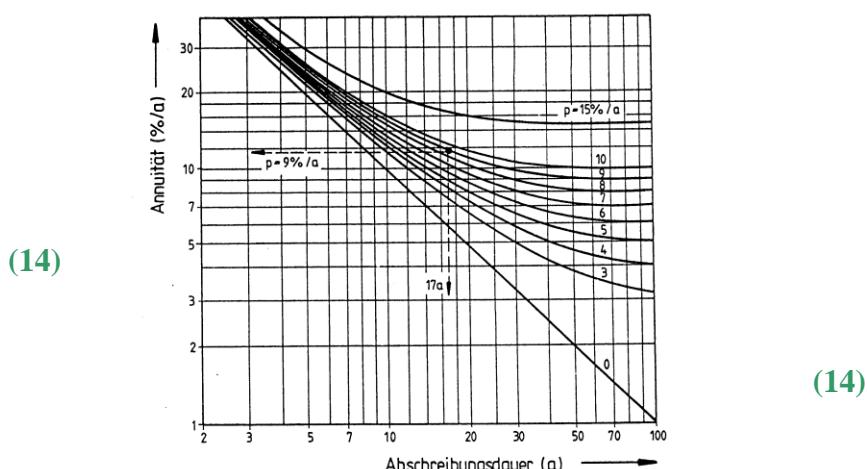


Abb. 10.8: Annuitätsfaktor  $a$  in Abhängigkeit vom Zinsfaktor  $p$  und von der Abschreibungsdauer  $N$

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

### Quellen:

1. [http://www.ucte.org/scripts/frameset/e\\_frameset.asp?ms=/services/onlinedatabase/packages/pce\\_package/default.asp](http://www.ucte.org/scripts/frameset/e_frameset.asp?ms=/services/onlinedatabase/packages/pce_package/default.asp) vom 01.04.09 Homepage des UCTE (Europäisches Verbundnetz)
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> 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.weltd derphysik.de/de/4245.php?ni=1325>, Effizienter Stromspeicher aus Nanoporen 20.03.2009 | Welt der Stoffe
8. DENA Studie,

Titel der Studie	Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien (kurz: PSW - Integration EE)
Stand	Abschlussbericht
Datum	05.02.2010
Version	Abschlussbericht PSW – Integration EE
Autoren	<p><b>Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Bereich Energiesysteme und Energiedienstleistungen, Agricola, Annegret-Cl. (Bereichsleitung):</b></p> <p>Höflich, Bernd Kreutzkamp, Paul (Projektleitung) Peinl, Hannes Völker, Jakob</p> <p><b>Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, Prof. Dr.-Ing. U. Wagner:</b></p> <p>Kühne, Maximilian Kuhn, Philipp Tzscheutschler, Peter</p> <p><b>Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Moser:</b></p> <p>Hermes, Roland Krahl, Simon Meisa, Kerstin</p>
Auftraggeber	Schluchseewerk AG

**9.** Einbindung von Speichern für erneuerbare Energien in die Kraftwerkseinsatzplanung - Einfluss auf die Strompreise der Spitzenlast, Dissertation Vanessa Grimm, Ruhr Uni Bochum, 2007

<http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/GrimmVanessa/diss.pdf>, S16

**10.**

[http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften\\_pof/pof\\_herbst\\_2009/energienetze/speicher/pof\\_209\\_energie\\_speicher.pdf](http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften_pof/pof_herbst_2009/energienetze/speicher/pof_209_energie_speicher.pdf)

**11.** Büro für Technikfolgenabschätzung 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

<http://www.vde.de/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V1/Aktuelles/Oeffentlich/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> 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/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, Lothat 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-Tagesdarstellung.svg&filetimestamp=20090620134220> Jahresgang 2008, Der Urheberrechtsinhaber 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 Nyilas FZK.

Arman Nyilas, April 10, 2010

### **2.2 Supraleitende Spulen**

SMES wurde in den 90er Jahren sehr intensiv sowohl in Bundesrepublik als auch in anderen Industriestaaten untersucht. Große Anlagen sind sehr unwirtschaftlich und wird wohl auf der Energiemarkt kein Bestand haben. Nur in kleinen Maßstäben (wie zB in Sägewerken etc) könnte SMES eine Rolle spielen. Jedoch dort auch muss man bedenken, dass für die Überwachung der SMES eine gut ausgebildete Mannschaft nötig wäre, was den Preis durch Personalkosten in die Höhe treiben würde. Man muss Vakuumtechniker, Kälteingenieure etc haben damit die Anlage sicher betrieben werden kann. Die benötigte flüssige Helium kostet etwa 12 € /Liter und täglich gibt es He-Verluste die kompensiert werden müssen.

Literatur Stelle

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Technik und Umwelt (Germany). Inst. für Technische Physik

“War wohl mein Institut”.

**23.**



Bundesverband  
WindEnergie e.V.

**Vergütungsübersicht Windenergie nach EEG 2009**

Gem. dieser Quelle beträgt die Einspeisevergütung 2012 8,93c/kWh zzgl. Systemdienstleistungsbonus 0,49c/kWh zzgl. Ggf. Repoweringbonus 0,49c/kWh

**24.**

[http://www.google.de/search?hl=de&source=hp&q=eeq+einspeiseverg%C3%BCtungss%C3%A4tze+2012&gbv=2&oq=eeq+einspeiseverg%C3%BCtungss%C3%A4tze+2012&aq=f&aq=i&aql=&gs\\_l=hp.12...1766.18126.0.20033.39.19.0.20.20.204.2735.0j14j2.16.0...0.0.OgGp1e4xIVw](http://www.google.de/search?hl=de&source=hp&q=eeq+einspeiseverg%C3%BCtungss%C3%A4tze+2012&gbv=2&oq=eeq+einspeiseverg%C3%BCtungss%C3%A4tze+2012&aq=f&aq=i&aql=&gs_l=hp.12...1766.18126.0.20033.39.19.0.20.20.204.2735.0j14j2.16.0...0.0.OgGp1e4xIVw)

**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>
Ab 01.04.2012	19,50 Cent	16,50 Cent	13,50 Cent
<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