

# Prüfung von wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten der NaS-Batterie

Auftraggeber:           Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz  
Datum:                   24.11.2006

**Transferstelle Bingen · Berlinstr. 109 · 55411 Bingen · [www.tsb-energie.de](http://www.tsb-energie.de)**

**Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl**

Tel: 06721 / 409 218

Fax: 06721 / 409 184

[pohl@tsb-energie.de](mailto:pohl@tsb-energie.de)

**Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs**

Tel: 06721 / 409 296

Fax: 06721 / 409 184

[kriebs@tsb-energie.de](mailto:kriebs@tsb-energie.de)

im

*Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein*

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Vorstellung NaS-Batterie</b> .....	<b>5</b>
1.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung NaS-Batterie .....	9
<b>2 Vorstellung der Einsatzgebiete einer NaS-Batterie und deren Wirtschaftlichkeit..</b>	<b>12</b>
2.1 Notstromversorgung.....	12
2.2 Unterbrechungsfreie Stromversorgung .....	17
2.3 Kappen von Leistungsspitzen.....	22
2.4 Vergleichmäßigung von regenerativem Strom .....	23
2.5 Verminderung der Netzbelastung.....	25
2.6 Vermeidung von Netzausbau .....	27
2.7 Verbesserung der Stromqualität.....	28
2.8 Bereitstellung von Regelenergie.....	30
2.9 Symmetrierung von Stromnetzen.....	35
<b>3 Zusammenfassung</b> .....	<b>36</b>

## Einleitung

Die NaS-Batterie (Natrium-Schwefel-Batterie) wird in Japan und USA in der Stromversorgung eingesetzt. Dort liegen andere Rahmenbedingungen als in Europa vor.

Andererseits bietet sich die Stromspeicherung für vielfältige Einsatzmöglichkeiten an. Die NaS-Batterie als chemischer Stromspeicher deckt einige Einsatzgebiete ab:

- Notstromversorgung
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Kappen von Leistungsspitzen
- Vergleichmäßigung von regenerativem Strom
- Verminderung der Netzbelastung
- Vermeidung von Netzausbau durch dezentrale Pufferung
- Verbesserung der Stromqualität
- Bereitstellung von Regelenergie

Die vorliegende Studie setzt sich mit den Möglichkeiten und Grenzen der NaS-Batterie für diese Anwendungen auseinander. Sie nutzt dazu veröffentlichte Informationen und geht ergänzend dazu auf Erkenntnisse der Transferstelle Bingen ein, die gezielt für die rheinland-pfälzischen Verhältnisse erarbeitet worden sind. Darüber hinaus berechnet sie für manche Einsatzgebiete Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, indem sie die NaS-Batterie der konventionellen Technik gegenüberstellt.

## 1 Vorstellung NaS-Batterie

Bevor die Einsatzgebiete einer NaS-Batterie vorgestellt werden, erfolgt eine kurze Einführung in die Technik einer NaS-Batterie.

1983 begann TEPCO (Tokyo Electric Power Company) mit der Entwicklung von NaS-Batterien. Seit 1984 ist NGK Insulators, Ltd., deren deutscher Partner die BASF AG ist, bei diesem Projekt beteiligt. Einige Pilotprojekte von 4 kW bis 2 MW werden seit 1994 im Feld getestet.

Eine NaS-Batterie (Natrium-Schwefel-Batterie) ist zylindrisch aufgebaut. Im Innern befindet sich die Natriumelektrode, die aus Sicherheitsgründen von einer Metallhülle umgeben ist. Auf der Außenseite schließt sich  $\beta$ -Aluminium als festes Elektrolyt an, das wiederum von der Schwefelelektrode umgeben ist.

Der Entlade- und Ladevorgang ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt. Bei der Entladung kann bis zu 80 % der Kapazität genutzt werden.

Die erforderliche Betriebstemperatur von ca. 290 °C bis 360 °C wird durch eine elektrische Heizung erreicht. Durch eine natürliche Luftkonvektion muss keine Energie zur Kühlung zugeführt werden.

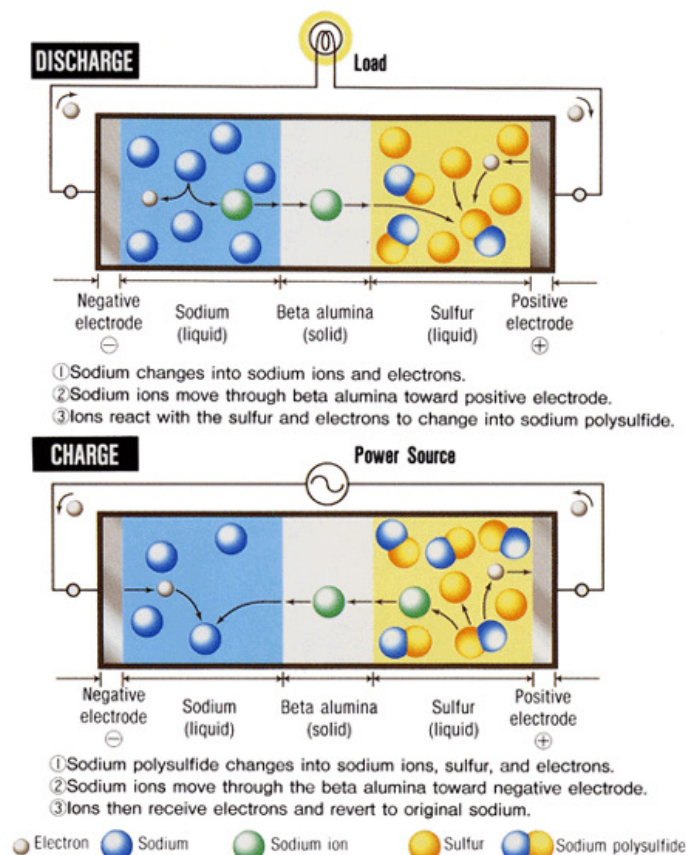


Abbildung 1-1 Funktionsschema einer NaS-Batteriezelle (Quelle: New IERE, Japan)

Ein Batteriemodul besteht aus mehreren Zellen, in deren Zwischenräumen Sand zur elektrischen Isolation gefüllt ist. Der Sand dient außerdem dem Brandschutz und schützt bei defekten Zellen vor Leckagen.

Um die Wärmeverluste möglichst gering zu halten, befindet sich zwischen der Innen- und Außenwand des Gehäuses ein Vakuum.

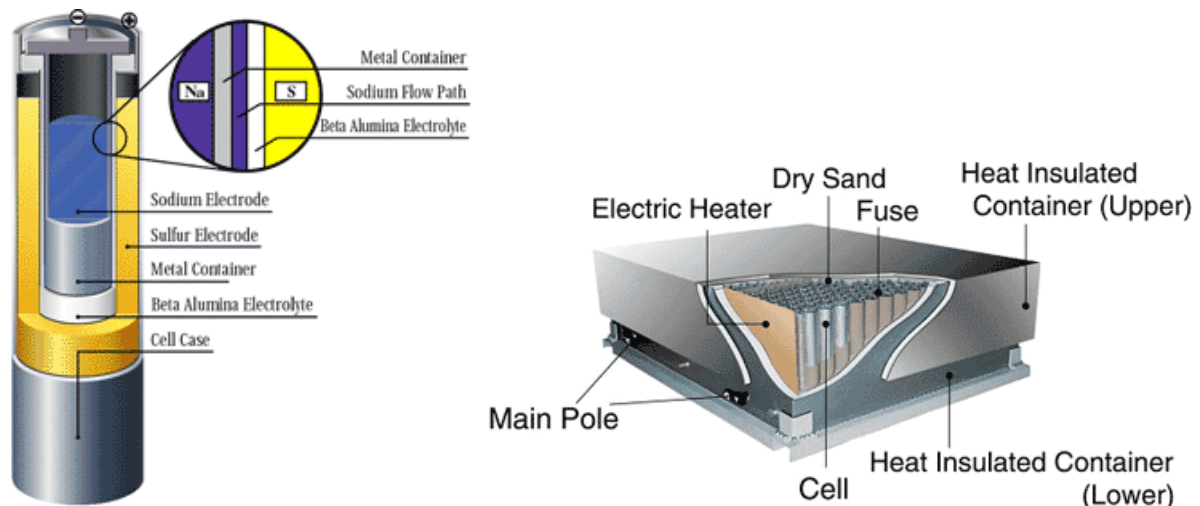


Abbildung 1-2 Schema Zelle und Batteriemodul (Quelle: New IERE, Japan)

Das Modul liefert  $50 \text{ kW}_{\text{el}}$  elektrische Leistung. Die Kapazität beträgt je nach Modell 360 oder  $430 \text{ kWh}_{\text{el}}$ . Das  $3.500 \text{ kg}$  schwere Batteriemodul nimmt ein Volumen von  $2,9 \text{ m}^3$  ein. Die elektrische Heizung benötigt je nach System entweder  $2,2 \text{ kW}$  oder  $3,4 \text{ kW}$  Leistung. Die Batteriemodule können in Reihe und/oder parallel geschaltet werden. So besteht z. B. ein  $1 \text{ MW}$ -Block aus 20 Batteriemodulen.

Die Batterie kann sowohl für eine Dauerleistung als auch für eine kurzzeitige Spitzenleistung eingesetzt werden. Das System „Peak shaving“ liefert mit einem  $1 \text{ MW}$ -Block eine Kapazität von  $8,6 \text{ MWh}$ . Mit dem System „Power quality“ steht mit einem  $1 \text{ MW}$ -Block für 30 Sekunden eine Leistung von  $5 \text{ MW}_{\text{el}}$  zur Verfügung.

Der Wirkungsgrad der NaS-Batterie-Anlagen liegt in einem Bereich von rund 87 %, während die Gesamtanlage mit Wechselrichter und elektrischer Heizung einen Wirkungsgrad von ca. 75 % erreicht.

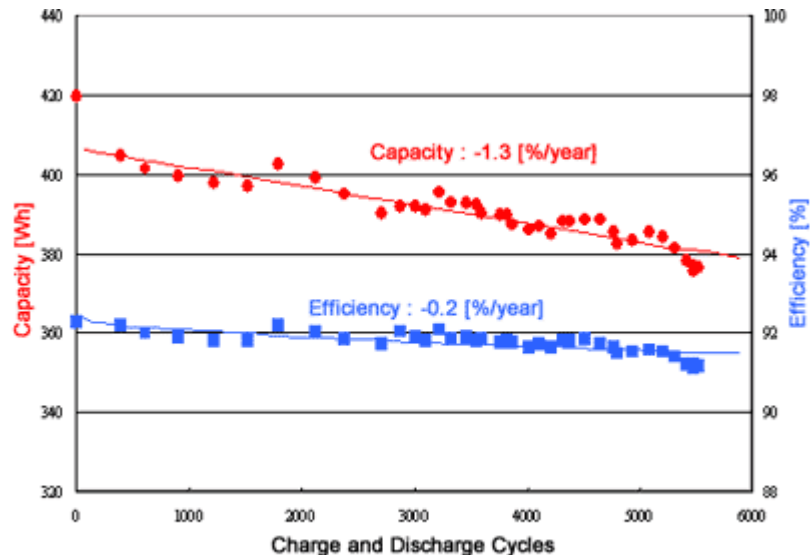


Abbildung 1-3 Kapazität und Wirkungsgrad für NaS-Batterie (Quelle: New IERE, Japan)

Durch die Anzahl der Lade- und Entladezyklen weist die Kapazität und der Wirkungsgrad der NaS-Batterie eine geringe Degradation auf.

Es tritt kein Memory-Effekt auf, sodass das Wiederaufladen nach einer Teilentladung für die Batterie nicht schädlich ist. Aufgrund dessen eignen sich die NaS-Batterien auch für Stromerzeugungsanlagen, die erneuerbare Energien nutzen wie z. B. Fotovoltaikanlagen und Windkraftanlagen, sodass diese zur Kompensation des unregelmäßigen Leistungsverlaufs beitragen.

Daneben sind NaS-Batterien für weitere Einsatzgebiete geeignet bzw. entwickelt.

- Reduzierung elektrische Spitzenleistung
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung z. B. Rechenzentren
- Notstromversorgung
- Fluktuationsausgleich für regenerative Stromerzeuger z. B. Windkraftanlage, Fotovoltaikanlage

Der von der Batterie gelieferte Gleichstrom wird mit dem „Power Conversion System“ (PCS), das aus einem Gleichstrom/Wechselstrom-Wandler, einem Transformator und Steuer- und Regeleinheit besteht, ins Stromnetz eingespeist.

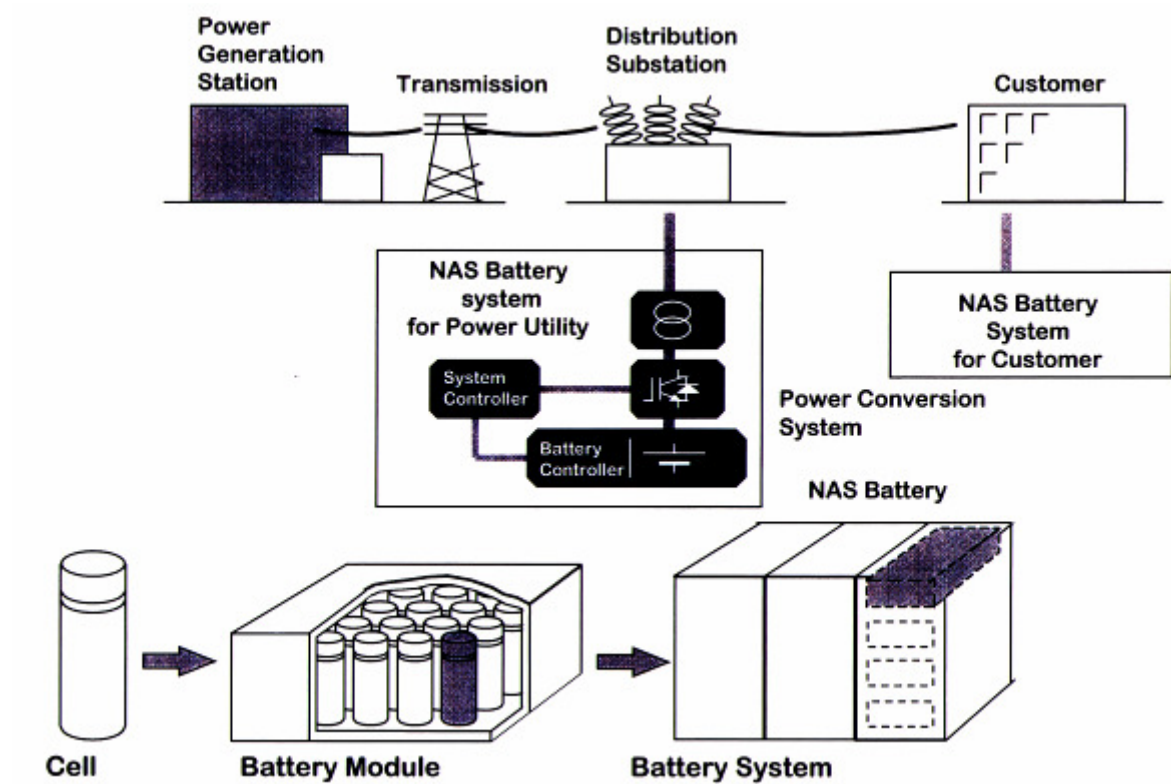


Abbildung 1-4 Schema NaS-Batterie-System (Quelle: NGK Insulators, Ltd.)

Als Lebensdauer der NaS-Batterien werden 15 Jahre angegeben. In dieser Zeit können 2.500 Zyklen mit 100 % der maximal möglichen Entladung oder 4.500 Zyklen mit 90 % der maximal möglichen Entladung oder 6.500 Zyklen mit 65 % der maximal möglichen Entladung durchgeführt werden.

Neben dem Einsatz zur Spitzenlastabdeckung können die Batterieanlagen auch für die regenerative Stromerzeugung eingesetzt werden, um die Fluktuation des Lastgangs zu kompensieren.

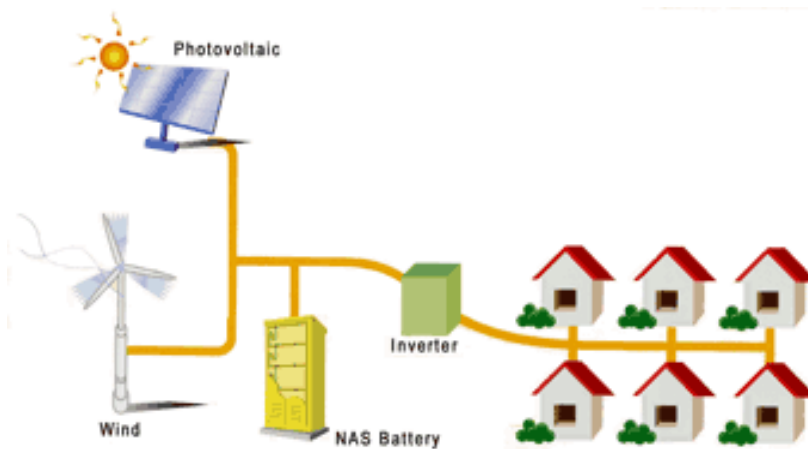


Abbildung 1-5 Schematische Darstellung NaS-Batterie mit regenerativer Stromerzeugung (Quelle: IERE, Japan)



## 1.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung NaS-Batterie

Zur wirtschaftlichen Bewertung der NaS-Batterie wird für einen festgelegten Leistungsbe-  
reich von 50 bis 500 kW<sub>el</sub> in den verschiedenen Einsatzgebieten die NaS-Batterie der kon-  
ventionellen Technik gegenübergestellt. Hier wird zunächst nur die Wirtschaftlichkeit der  
NaS-Batterie betrachtet, um diese später mit den konventionellen Anlagen in den verschie-  
denen Einsatzgebieten vergleichen zu können.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten einer NaS-Batterie-Anlage  
von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten in Anlehnung an die VDI-  
Richtlinie 2067 berechnet. Die Kosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

### Rahmenbedingungen

#### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre

#### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Es werden keine verbrauchsgebundenen Kosten angesetzt.

#### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung NaS-Batterie	0,5 % der Investition <sup>1</sup>
Personalkosten	30 €/h

---

<sup>1</sup> Annahme TSB, derzeit keine Daten bekannt, angelehnt an Wartungsaufwand elektrische Anlagen

Die abgeschätzten Investitionskosten sind für einige Leistungsgrößen aus der Tabelle zu entnehmen.

<b>NaS-Batterie</b>					
elektrische Leistung	$kW_{el}$	50	100	250	500
NaS-Batterie	€	75.000	150.000	375.000	750.000
PCS	€	15.000	30.000	75.000	150.000
Außenaufstellung	€	800	1.400	2.300	2.700
Planung	€	13.600	27.200	67.800	135.400
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>104.400</b>	<b>208.600</b>	<b>520.100</b>	<b>1.038.100</b>

Abbildung 1-6 Investitionskosten NaS-Batterie

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in der Tabelle ebenfalls für einige Leistungsgrößen aufgeführt.

<b>NaS-Batterie</b>					
elektrische Leistung	$kW_{el}$	50	100	250	500
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>104.400</b>	<b>208.600</b>	<b>520.100</b>	<b>1.038.100</b>
Kapitalkosten	€/a	10.749	21.478	53.551	106.886
Betriebskosten	€/a	2.018	2.474	3.833	6.087
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>12.767</b>	<b>23.952</b>	<b>57.384</b>	<b>112.973</b>
spez. Jahreskosten	€/( $kW_{el}a$ )	255	240	230	226

Tabelle 1-1 Wirtschaftlichkeit NaS-Batterie

Das Diagramm wird mit zusätzlichen Zwischenwerten, die in der Tabelle nicht aufgeführt sind, erstellt.

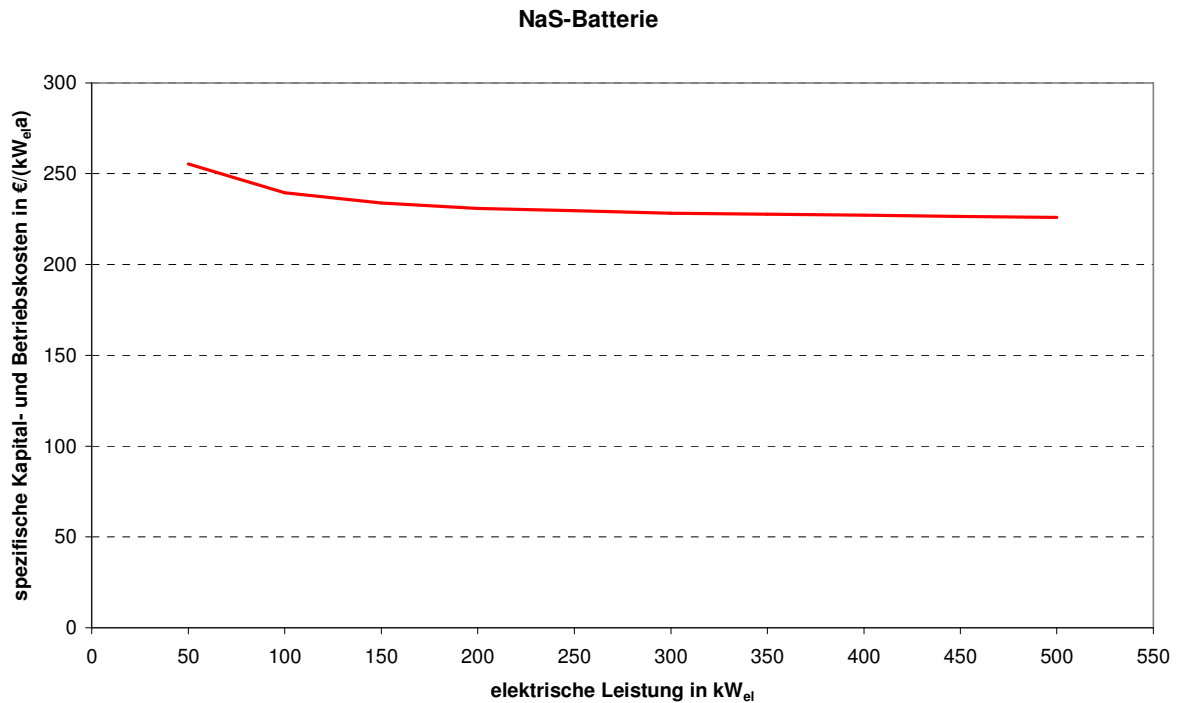


Abbildung 1-7 spezifische Kapital- und Betriebskosten NaS-Batterie

Die jährlichen Kosten sind für eine NaS-Batterie unter den gesetzten Rahmenbedingungen geringfügig von der elektrischen Leistung abhängig. Die spezifischen Kapital- und Betriebskosten liegen zwischen etwa 226 €/kW<sub>el</sub>a) und 255 €/kW<sub>el</sub>a).

## 2 Vorstellung der Einsatzgebiete einer NaS-Batterie und deren Wirtschaftlichkeit

Die zu untersuchenden Einsatzgebiete einer NaS-Batterie werden kurz vorgestellt. Mit derzeit in Betrieb befindlichen NaS-Batterie-Anlagen in Japan werden die Informationen veranschaulicht. Die herkömmliche Technik der jeweiligen Einsatzgebiete wird kurz beschrieben. Für manche Einsatzgebiete kann eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dargestellt werden, während für einige Einsatzgebiete keine Wirtschaftlichkeit angegeben werden kann.

### 2.1 Notstromversorgung

In einigen Einrichtungen ist die Notstromversorgung von besonderer Bedeutung. Dies trifft z. B. auf Krankenhäuser, Fernmeldeeinrichtungen und in der Leittechnik zu. Konventionell werden dazu in der Regel Bleibatterien oder Notstromaggregate eingesetzt.

Eine NaS-Batterie stellt als Notstromversorgungsanlage Gleichstrom zur Verfügung.

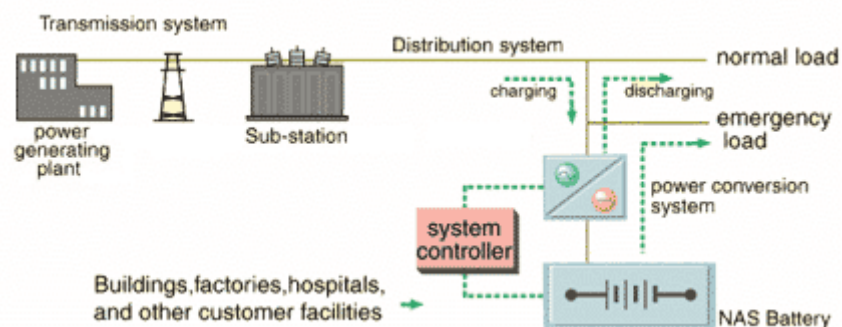


Abbildung 2-1 Schema Notstromversorgung mit NaS-Batterie (Quelle: IERE, Japan)

In Japan mit häufigen Erdbeben ist die Notstromversorgung sehr wichtig. In Kawasaki ist eine NaS-Batterie mit 290 kW zur Notstromversorgung sowie zur Verminderung der Netzbelastung installiert.

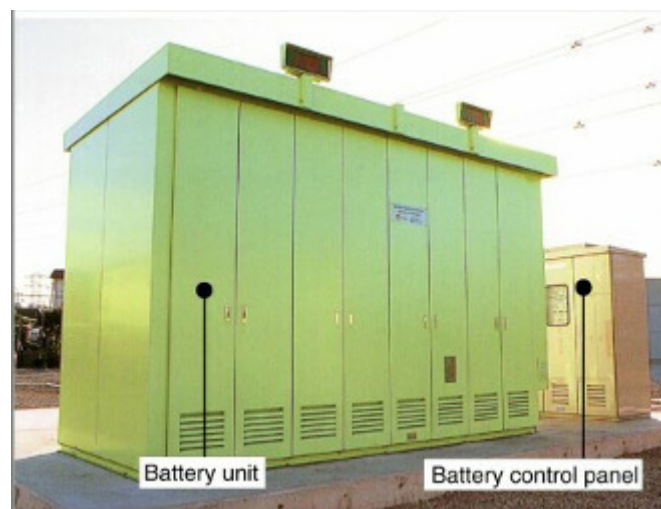


Abbildung 2-2 NaS-Batterie zur Notstromversorgung in Kawasaki (Quelle: IERE, Japan)

Eine NaS-Batterie bietet einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Bleibatterien, die zur Notstromversorgung eingesetzt werden. Durch die höhere, volumenspezifische Kapazität der NaS-Batterie ergibt sich ein geringerer Platzbedarf der Notstromversorgung. Zusätzlich beträgt das Gewicht der NaS-Batterie nur etwa ein zehntel der Blei-Batterie. Die längeren Nutzungszeit und der größere Wartungsintervall unterstützen den wirtschaftlichen Betrieb der NaS-Batterie.



Abbildung 2-3 Unterschied Platzbedarf zwischen Blei-Batterie und NaS-Batterie  
(Quelle: IERE, Japan)

	Blei-Batterie	NaS-Batterie
Spannung	110 V	110 V
Kapazität	600 Ah	600 Ah
Größe	1,1 m L x 2,3 m B x 1,35 m H	0,692 m L x 1,244 m B x 0,692 m H
Gewicht	2,4 t	0,3 t
Nutzungszeit	Bis zu 15 Jahre	15 – 20 Jahre
Wartungsintervall	halb jährlich	alle 6 Jahre

Während Bleibatterien in einem kleinen Leistungsbereich zum Einsatz kommen wie z. B. OP-Beleuchtung im Krankenhaus oder für Drehstrom-Verbraucher mit hohen Einschaltströmen, werden für die Leistungsbereitstellung Notstromaggregate im Bereich von ca. 5 kW bis ca. 2.000 kW eingesetzt.

Zur Notstromversorgung werden üblicherweise aus Sicherheitsgründen zwei unabhängige Notstromaggregate installiert. Eine Synchronisationseinrichtung mit dem öffentlichen Stromnetz gewährleistet, unterbrechungslos auf die Netzversorgung zurückschalten zu können. Es kommen Generatoren entweder mit Dieselmotoren oder Abgas-Turbolader zum Einsatz. Gasmotoren sind in Notstromaggregaten ebenfalls zugelassen, allerdings ist eine getrennte Gasversorgung erforderlich und sie können nicht so schnell ausregeln wie Dieselmotoren.

Für die wirtschaftliche Bewertung der NaS-Batterie wird für die konventionelle Technik in Form eines Notstromaggregats eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für einen Leistungsbe-  
reich von 50 bis 500 kW<sub>el</sub> durchgeführt.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten einer Notstromaggregat-  
Anlage anhand von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten in Anlehnung an  
die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Die Kosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer  
angegeben.

Aus Gründen der Versorgungssicherheit wird eine Notstromanlage aus zwei Notstromag-  
gregaten betrachtet.

Zum Vergleich mit der NaS-Batterie werden spezifische Jahreskosten in Bezug auf die elekt-  
rische Leistung gebildet.

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Es werden keine verbrauchsgebundenen Kosten angesetzt.

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Notstromaggregat	1,4 % der Investition <sup>2</sup>
Personalkosten	30 €/h
Spez. Heizölpreis Notstromaggregat Probebetrieb	45 Ct/l

---

<sup>2</sup> Durchschnitt nach VDI 2067 Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und  
Kostenberechnung, Düsseldorf, September 2000

In der Tabelle sind für einige Leistungsgrößen die abgeschätzten Investitionskosten angegeben.

<b>Notstromaggregat</b>					
elektrische Leistung	$\text{kW}_{\text{el}}$	56	96	262	458
Notstromaggregat, automatische Batterieladung, Motorvorwärmung	€	22.900	36.360	72.370	134.150
Heizöltank	€	200	400	1.000	1.500
Kamin	€	300	300	400	500
Betriebsmittelversorgungsanlage	€	5.600	9.600	26.200	45.800
Technikraum	€	8.200	9.300	11.500	14.800
Planung	€	5.600	8.400	16.700	29.500
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>42.800</b>	<b>64.360</b>	<b>128.170</b>	<b>226.250</b>

Tabelle 2-1 Investitionskosten Notstromaggregat

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in der Tabelle ebenfalls für einige Leistungsgrößen aufgeführt.

<b>Notstromaggregat</b>					
elektrische Leistung	$\text{kW}_{\text{el}}$	56	96	262	458
Kapitalkosten	€/a	4.407	6.627	13.197	23.295
Betriebskosten	€/a	2.110	3.859	10.987	16.965
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>6.517</b>	<b>10.486</b>	<b>24.184</b>	<b>40.260</b>
spez. Jahreskosten	€/( $\text{kW}_{\text{el}}\text{a}$ )	116	109	92	88

Tabelle 2-2 Wirtschaftlichkeit Notstromaggregat

Das Diagramm wird mit zusätzlichen Zwischenwerten, die in der Tabelle nicht aufgeführt sind, erstellt.

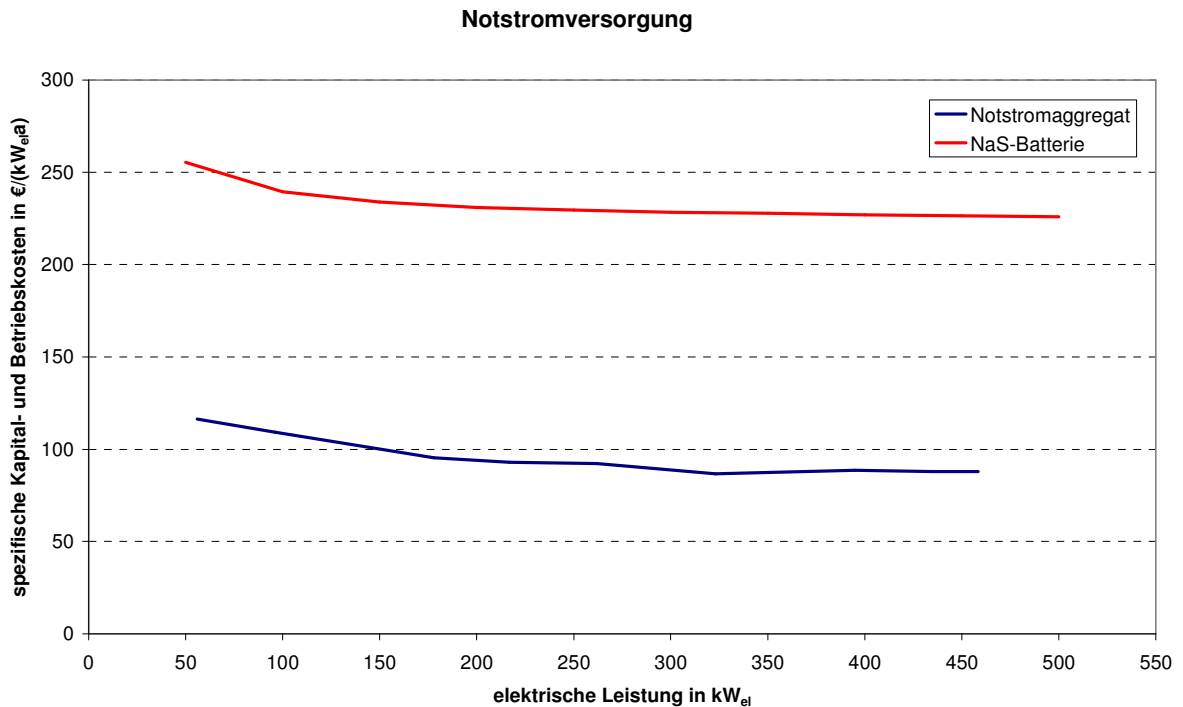


Abbildung 2-4 spezifische Kapital- und Betriebskosten Notstromaggregat und NaS-Batterie

Die spezifischen Kosten einer Notstromversorgung mit Notstromaggregaten betragen rund die Hälfte der entsprechenden, spezifischen Kosten einer NaS-Batterie.



## 2.2 Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) wird dort benötigt, wo elektronische Verbraucher vor Stromstörungen und Stromausfällen geschützt werden müssen, damit die empfindliche Elektronik eines Gerätes oder Anlage nicht zerstört wird. Dies trifft besonders auf die elektronische Datenverarbeitung also bei PC, Server und Netzwerk zu. Daneben empfiehlt sich der Einsatz einer unterbrechungsfreien Stromversorgung bei Einspeisung in die Hausverteilung, Telekommunikation, Sicherheitstechnik, Generatorbetrieb, Industrieanwendungen, Industrie (Motoren), Beleuchtung (Neon) und Medizintechnik.

Folgende Netzstörungen können auftreten.

- Netzausfälle >10 ms
- Spannungsschwankungen < 16 ms
- Spannungsspitzen 4 – 16 ms
- Unterspannungen, permanent
- Überspannungen, permanent
- Blitzeinwirkung
- Spannungsstöße < 4 ms
- Frequenzschwankungen
- Spannungsverzerrungen
- Spannungsüberschwingungen, permanent

Zur unterbrechungsfreien Stromversorgung werden vier Funktionsprinzipien unterschieden.

Backup USV:

Backup USV überbrückt als einfache USV Stromausfälle. Sie haben meistens keine Sinusausgangsspannung und haben eine geringe Schutzwirkung.

Line-Interactive USV:

Der Verbraucher wird direkt über das Netz versorgt. Falls das Netz ausfällt oder die Stromqualität absinkt, versorgt die unterbrechungsfreie Stromversorgung den Verbraucher mit Strom. Bei diesem Funktionsprinzip besteht in der Regel eine direkte Verbindung vom Eingang zum Ausgang. Störungen werden in einem geringen Umfang durch Zusatzfilter aufgehoben.

On-Line USV:

Der Verbraucher wird direkt aus der USV mit störungsfreiem Strom versorgt, der in der USV generiert wird. Da es keine direkte Verbindung zwischen Ein- und Ausgang besteht, wird dieses Funktionsprinzip auch als quasi galvanische Trennung (Elektrolyt der Batterie) zwischen Ein- und Ausgangskreis bezeichnet.

Ferro-Resonante USV:

Bei der Ferro-Resonanten USV handelt es sich um eine On-Line USV, bei der die galvanische Trennung durch den Ferritkern des Trafos erfolgt.

Im Falle eines Spannungsausfalls, einer Netzunterbrechung oder einem Netzausfall kann eine NaS-Batterie für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung sorgen. Konventionell wird dazu eine unterbrechungsfreie Stromversorgung mit Blei-Batterien eingesetzt. Aus Gründen der Redundanz werden USV als Parallelanlagen konzipiert.

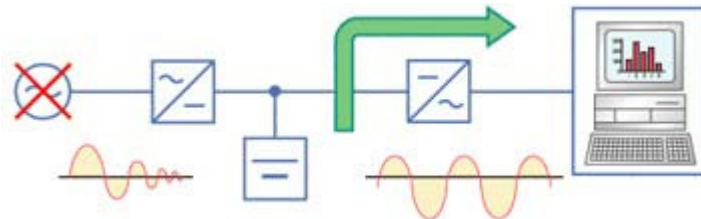


Abbildung 2-5 Schema unterbrechungsfreie Stromversorgung mit NaS-Batterie  
(Quelle: IERE, Japan)

In einem Feldtest in Kawasaki wurde von Juni 1996 bis Juli 1999 eine 200 kW NaS-Batterie zur unterbrechungsfreien Stromversorgung sowie zur Kappung von Stromspitzen betrieben.



Abbildung 2-6 NaS-Batterie zur unterbrechungsfreien Stromversorgung in Kawasaki  
(Quelle: IERE, Japan)

Eine konventionelle USV besteht im Wesentlichen aus einer Bleibatterie, einem Eingangsgleichrichter und einem Wechselrichter.

Zur Bewertung der NaS-Batterie wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine USV-Anlage durchgeführt.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten einer Notstromaggregat-Anlage anhand von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Die Kosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

Mit den abgeschätzten Investitionskosten und den in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Betriebskosten werden die Jahreskosten einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) für den Leistungsbereich von 50 kW<sub>el</sub> bis 500 kW<sub>el</sub> ermittelt.

Zur Erhöhung der Sicherheit wird eine redundante USV-Anlage betrachtet. Dazu ist ein Doppelsystem für die Online USV-Anlage und die angeschlossenen Bleibatteriesysteme erforderlich. In der Regel werden beide Systeme unter Halblast betrieben, was die Elektronik und die Batterien schont. Bei Ausfall eines Systems wird die Gesamtlast vom zweiten System übernommen. So ist bei Stromausfall die doppelte Batteriekapazität verfügbar.

Zum Vergleich mit der NaS-Batterie werden spezifische Jahreskosten in Bezug auf die elektrische Leistung gebildet.

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer USV-Anlage	10 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Es werden keine verbrauchsgebundenen Kosten angesetzt.

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung USV	2 % der Investition
------------------------------	---------------------

In der Tabelle sind für einige Leistungsgrößen die abgeschätzten Investitionskosten angegeben.

<b>USV-Anlage</b>					
elektrische Leistung	$\text{kW}_{\text{el}}$	48	96	240	480
USV	€	77.484	86.729	143.922	196.710
Technikraum	€	5.700	5.700	11.200	11.900
Planung	€	12.478	13.864	23.268	31.292
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>95.662</b>	<b>106.293</b>	<b>178.390</b>	<b>239.902</b>

Tabelle 2-3 Investitionskosten USV-Anlage

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in der Tabelle ebenfalls für einige Leistungsgrößen aufgeführt.

<b>USV-Anlage</b>					
elektrische Leistung	$\text{kW}_{\text{el}}$	48	96	240	480
Kapitalkosten	€/a	12.997	14.442	24.238	32.595
Betriebskosten	€/a	1.550	1.735	2.878	3.934
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>14.547</b>	<b>16.176</b>	<b>27.116</b>	<b>36.529</b>
spez. Jahreskosten	€/( $\text{kW}_{\text{el}}\text{a}$ )	303	169	113	76

Tabelle 2-4 Wirtschaftlichkeit USV-Anlage

Das Diagramm wird mit zusätzlichen Zwischenwerten, die in der Tabelle nicht aufgeführt sind, erstellt.

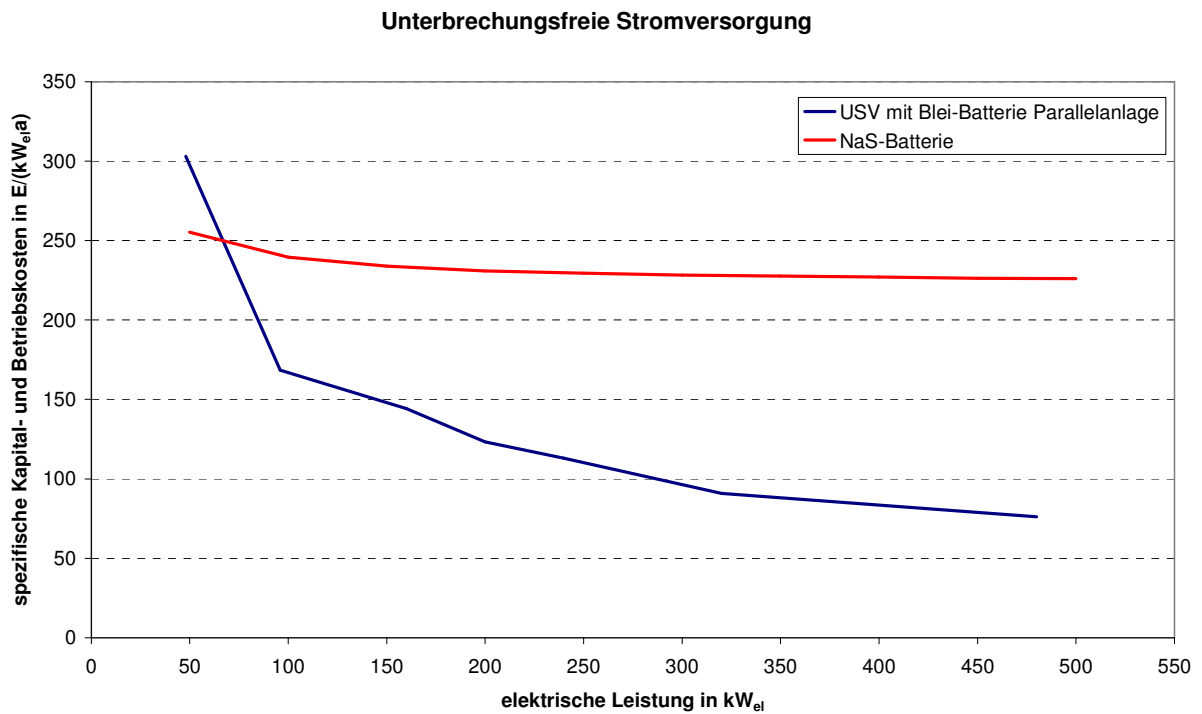


Abbildung 2-7 spezifische Kapital- und Betriebskosten unterbrechungsfreie Stromversorgung und NaS-Batterie

Die spezifischen Kosten für eine konventionelle, unterbrechungsfreie Stromversorgung nehmen für höhere, elektrische Leistung im Vergleich zur NaS-Batterie stark ab.

### 2.3 Kappen von Leistungsspitzen

Für Kunden, die den Strom gegen einen Arbeits- und Leistungspreis vom Energieversorgungsunternehmen beziehen, spielt die elektrische Leistungsspitze aus wirtschaftlicher Sicht eine wichtige Rolle. Dort wo eine Lastabwurfsteuerung möglich ist, wird dies als konventionelle Lösung umgesetzt. Ansonsten werden Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen oder Batterien eingesetzt. Die Kraft-Wärme-Kopplung erfordert im Vergleich zur NaS-Batterie nur einen Bruchteil an Investitionskosten (POHL & KRIEBS, 2004). Der Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen besteht darin, sie stromgeführt und nicht nur zu Zeiten mit Leistungsspitzen zu betreiben. Dies spiegelt sich im Wirtschaftlichkeitsvergleich zu einer NaS-Batterie mit niedrigeren Jahreskosten wider.

Dennoch ließe sich eine NaS-Batterie ebenfalls zum Kappen von Leistungsspitzen einsetzen. Beispielsweise könnte eine 1 MW<sub>el.</sub>-NaS-Batterie mit 2 MW<sub>el.</sub>-Umrichter bei einem mittelständischen Automobilzulieferer die Stromleistungsspitzen um 2 MW<sub>el.</sub> kappen. Mit der Reduzierung der Leistungsspitzen liegt eine höhere Auslastung des Strombezugs vor, was vom Energieversorger durch eine Verringerung des Strompreises anerkannt werden könnte<sup>3</sup>.

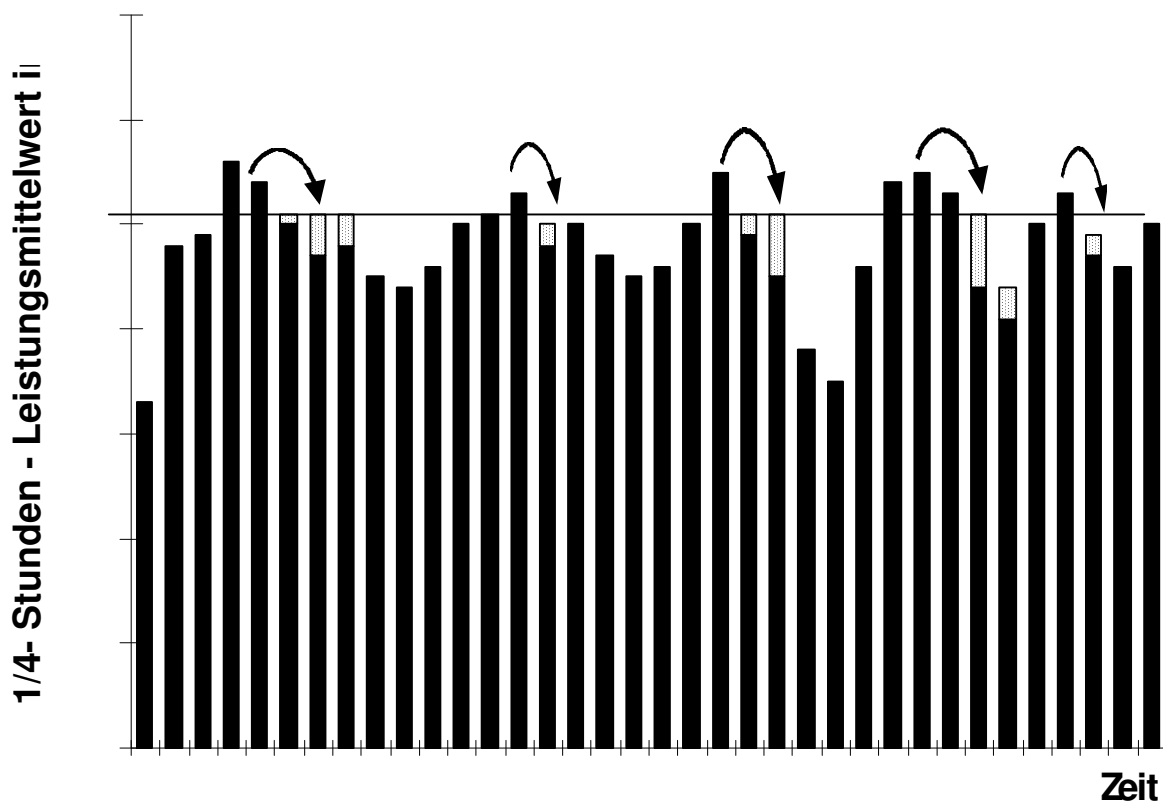


Abbildung 2-8 Verbrauchsoptimierung durch verschieben von Stromverbrauch

<sup>3</sup> POHL, C. & KRIEBS, K. (2004): *Machbarkeitsstudie zur Pilotanwendung der NaS-Batterie in Rheinland-Pfalz*. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz. 19 S.

So betreibt auch das japanische Elektrizitätswerk Kinugawa seit Januar 1998 eine 200 kW NaS-Batterie in einem Feldtest zum Kappen von Leistungsspitzen. Auch im TEPCO R&D Center (Tokyo Electric Power Company) ist seit September 1998 eine NaS-Batterie mit 200 kW in dieser Funktion in Betrieb.



Abbildung 2-9 NaS-Batterie in Kinugawa und im TEPCO R&D Center  
(Quelle: IERE, Japan)

## 2.4 Vergleichmäßigung von regenerativem Strom

Es ist für die Stromerzeugung aus Windkraft und Solarstrahlung charakteristisch, dass die elektrische Leistung wegen des wechselnden Angebots an Wind und Solarstrahlung fluktuiert. So ließe sich zwar der Strombedarf einer mittleren rheinland-pfälzischen Ortsgemeinde mit 3.000 Einwohnern in Höhe von 15.000 MWh<sub>el.</sub> und einer maximalen Leistung von 2.700 kW<sub>el.</sub> summarisch mit zwei großen Windkraftanlagen und 1,4 bis 4,2 ha Photovoltaikanlagen decken, allerdings würden Stromerzeugung und -nachfrage nicht immer übereinstimmen. Im Jahresverlauf würden Zeiten des Stromüberschusses und des -mangels auftreten<sup>4</sup>. Das gleiche gilt auf Verbandsebene. Ein solcher Kommunalzusammenschluss mit 13.000 Einwohnern, wie er für Rheinland-Pfalz typisch ist, verbraucht derzeit etwa 45.000 MWh<sub>el.</sub> im Jahr mit einer Maximalleistung von 10.000 kW<sub>el.</sub>. Diesem Bedarf könnten theoretisch ein 45 MW<sub>el.</sub>-Windpark und 6,6 ha Photovoltaikanlagen begegnen. Allerdings ist der Strom wegen seiner Fluktuation nur zu zwei Dritteln für die Verbandsgemeinde nutzbar<sup>5</sup>. Eine vergleichbare Deckungsrate ließe sich auch für kleinere Objekte wie beispielsweise ein rheinland-pfälzisches Jugendhilfezentrum mit einem Strombedarf von 410 MWh<sub>el.</sub> im Jahr mit der

<sup>4</sup> POHL, C. & KRIEBS, K. (2006): *Einsatzmöglichkeiten einer NaS-Batterie für die Regenerativstromversorgung am Beispiel der Gemeinde Bruchmühlbach*. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz. 111 S.

<sup>5</sup> POHL, C. & KRIEBS, K. (2006): *Einsatzmöglichkeiten zur Regenerativstromversorgung am Beispiel der Verbandsgemeinde Kaisersesch*. Bingen: Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH. 66 S.

Kombination aus Windkraft und Sonnenenergie erreichen<sup>6</sup>. Auch wenn diese Erkenntnisse auf beachtliche Möglichkeiten hinweisen, so machen sie aber auch klar, dass die regenerative Stromerzeugung aus Windkraft und Solarstrahlung nicht grundlastfähig ist.

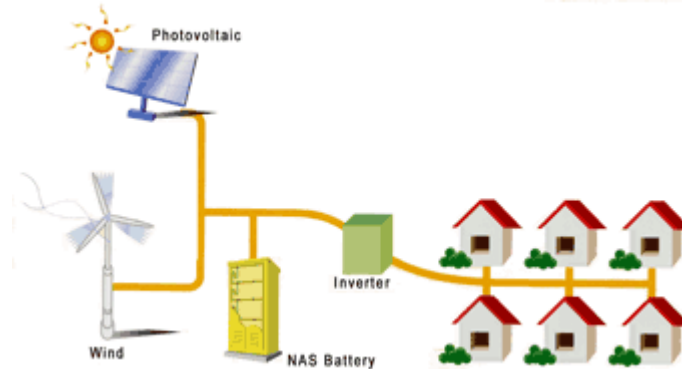
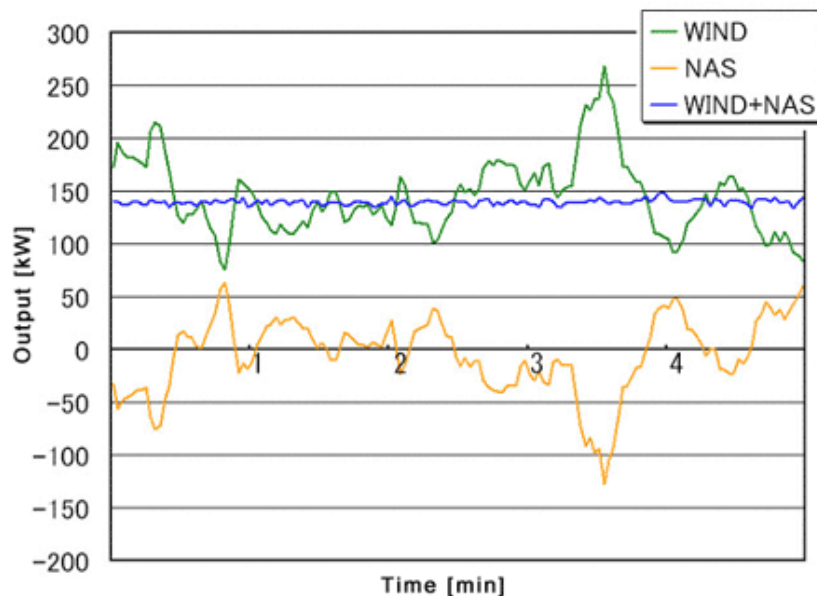


Abbildung 2-10 Schema regenerative Stromerzeugung und NaS-Batterie  
(Quelle: IERE, Japan)

Um eine möglichst konstante Leistung des regenerativ erzeugten Stroms einspeisen zu können, ist deshalb eine Stromspeicherung erforderlich. Dazu ist eine NaS-Batterie einsetzbar. Anhand dieser Technik schliesse sich die Lücke der Eigenversorgung mit Strom unter wirtschaftlich tragbaren Bedingungen auf Gemeinde- bzw. Verbandsgemeindeebene um über 10 %<sup>7</sup>. Für kleinere Objekte sind sogar deutlich größere Vorteile von bis 20 % erzielbar<sup>8</sup>.



<sup>6</sup> POHL, C. & KRIEBS, K. (2006): *Konzeption einer Pilozanwendung der NaS-Batterie am Beispiel des Jugendhilfezentrums der ctt in Aach*. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz. 51 S.

<sup>7</sup> Vgl. Fußnoten 4,5.

<sup>8</sup> Vgl. Fußnote 6.



Abbildung 2-11 Lastgangausschnitt Stromerzeugung mit Windkraft und Strombereitstellung in Kombination mit NaS-Batterie (Quelle: IERE, Japan)

In komplementären Ansätzen wird die fluktuierende Stromerzeugung mit grundlastfähigen Anlagen wie z. B. Bioenergie-Blockheizkraftwerk oder mit Pumpspeicherkraftwerken zur Deckung einer Versorgungslücke kombiniert. Andere Überlegungen gehen davon aus, den Überschussstrom in Wärme umzuwandeln<sup>9</sup>. Wie die rheinland-pfälzischen Überlegungen zeigen, ergänzen diese Ansätze die Stromspeicherung in einer NaS-Batterie sinnvoll. Allerdings bleibt die Wirtschaftlichkeit der Blockheizkraftwerke und der Stromumwandlung in Wärme nur gewahrt, wenn die Betreiber den Wärmeabsatz sicherstellen. Der Wärmebedarf ist eine unabdingbare Voraussetzung für ein Blockheizkraftwerk und die Umwandlung des Überschussstroms in Wärme.

## 2.5 Verminderung der Netzbelastung

Zu verschiedenen Tageszeiten liegen unterschiedliche Netzbelastungen vor. Die Leistung im Stromnetz am Tag und in der Nacht unterscheidet sich stark. Wenn die unterschiedlichen Netzbelastungen durch eine Speicherung so verringert werden kann, dass sich die Spitzenleistung reduziert, führt dies zu einer höheren Effektivität der Kraftwerke, und es können eventuell Kraftwerke eingespart werden. Diese Maßnahme ist sowohl bei Umspannstationen von Energieversorgern als auch bei Stromverbrauchern umsetzbar, was in Japan mit NaS-Batterien durchgeführt wird. Solche Vorteile könnten möglicherweise in geringere Strombezugpreise für den Endverbraucher münden.

---

<sup>9</sup> POHL, C. & KRIEBS, K. (2006): *Wärmeversorgung in Verbindung mit einer regenerativen Stromversorgung am Beispiel der Gemeinde Bruchmühlbach*. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz. 51 S.

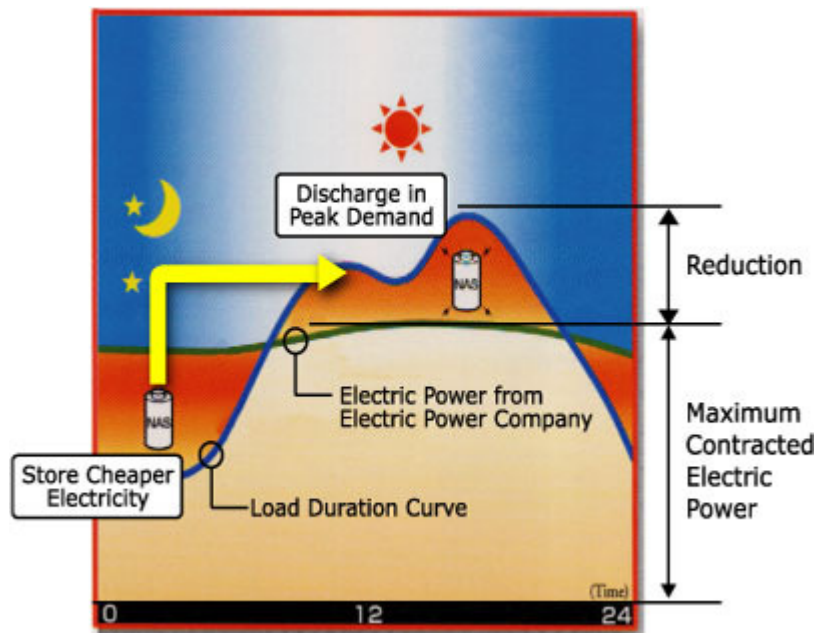


Abbildung 2-12 Schema zur Belastungsverteilung zwischen Nacht und Tag

Zur Belastungsverteilung von drei Banken in Ohito befinden sich im Unterwerk insgesamt drei NaS-Batterien mit jeweils  $2 \text{ MW}_{\text{el}}$  elektrische Leistung.



Abbildung 2-13 NaS-Batterien ( $3 \times 2 \text{ MW}_{\text{el}}$ ) zur Belastungsverteilung von drei Banken  
(Quelle: IERE, Japan)

## 2.6 Vermeidung von Netzausbau

Eine NaS-Batterieanlage kann auch dort zum Einsatz kommen, wo die Netzkapazität nicht ausreicht und ein Stromanschluss mit einer höheren Leistung oder ein Netzausbau erforderlich ist. Wenn durch z. B. eine Betriebserweiterung die maximale Leistungsbereitstellung der vorhandenen Stromversorgung nicht ausreicht, ist in der Regel eine neue Trafostation mit einer höheren Leistung notwendig. So ging eine rheinland-pfälzische Studie über ein Jugendhilfezentrum im Jahr 2006 von der Feststellung aus, dass es ein Ausbau der Einrichtungen ohne Neuordnung der Stromversorgung nötig machen würde, den bestehenden Niederspannungsanschluss durch einen Mittelspannungsanschluss zu ersetzen<sup>10</sup>. Dies trifft z. B. auch für die Installation einer großen Fotovoltaikanlage zu, wenn die vorhandene Trafostation für die Stromeinspeisung nicht ausreicht.

Um dies zu vermeiden, stellt sich eine NaS-Batterie als Alternative dar. Sie wird zu Zeiten mit einer niedrigen Leistungsabnahme geladen und zu Zeiten mit einem höheren Leistungsbedarf entladen. Am Beispiel des Jugendhilfezentrums würde die NaS-Batterie auf diese Weise die notwendige Maximalleistung um ca. 20 % erniedrigen. Dies könnte dazu beitragen, den Netzausbau zu vermeiden<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> Vgl. Fußnote 6.

<sup>11</sup> Ebd.

## 2.7 Verbesserung der Stromqualität

Durch Störungen kann sich die Stromqualität vermindern, sodass empfindliche Geräte und Anlagen im schlimmsten Fall geschädigt werden können. Zu den Störungen zählen Oberschwingungen, Spannungsschwankungen und Frequenzschwankungen.

Durch die Zunahme an Stromverbrauchern wie z. B. Stromrichter, elektronisch geregelte Antriebe, statische Frequenzumrichter, Fernsehgeräte und Computer in Niederspannungsnetzen, die dem Stromnetz einen nichtsinusförmigen Strom entnehmen, verzerrt sich die Netzspannung, es kommt zum Spannungsabfall und Oberschwingungen treten durch Überlagerungen auf. Durch die hohe Anzahl solcher Verbraucher entstehen auch in manchen Mittelspannungsnetzen Oberschwingungen.

Spannungsschwankungen treten hauptsächlich durch Blindleistungseinflüsse auf. So verursachen größere Motoren beim Einschalten erhebliche Spannungsschwankungen. Zur Spannungsstabilisierung reicht es nicht aus, die Blindleistung vom Generator regeln zu lassen, sondern es werden zusätzliche Kompensationsanlagen benötigt.

Der Wechselstrom-Gleichstrom-Konverter in der Netzanbindung der NaS-Batterie ist zusätzlich für die Verbesserung der Stromqualität geeignet. Für dieses Einsatzgebiet finden Ladung und Entladung innerhalb kurzer Zeitabschnitte statt. Beim Einsatz von Bleibatterien verkürzt sich dadurch deren Lebensdauer. Dies ist mit einer NaS-Batterie nicht zu befürchten.

Die Unterdrückung von Oberschwingungen kann mit einem zusätzlichen Aktiven Filter in der Netzanbindung der NaS-Batterie umgesetzt werden. Der technische Hintergrund zur Funktionsweise kann z. B. aus einer Ausführung der Universität Rostock<sup>12</sup> entnommen werden.

Auch eine Blindstromkompensation ist mit der NaS-Batterie in Verbindung mit der Netzanbindung möglich, indem die Netzanbindung mit einer zusätzlichen Komponente zur Bereitstellung von Blindleistung ausgestattet wird. Dadurch ist keine Installation einer Blindleistungskompensation erforderlich. Außerdem sind keine Investitionen für Einrichtungen, um einen steigenden Lastfluss zu bewerkstelligen, zu tätigen.

Sobald in Japan die bereitgestellte Blindleistung unter den Referenzwert (85 %) fällt, wird ein Bezug von zusätzlicher Blindleistung erforderlich. Bei einem niedrigeren Bezug an Blindleistung als der Referenzwert kann die Differenz abgezogen werden. Der zusätzliche Bezug von Blindleistung ist beim Einsatz einer NaS-Batterie mit einer Blindstromkompensation nicht mehr notwendig.

---

<sup>12</sup> BALLANDT, F. (2007): *Regelung eines 3-phasigen Wechselrichters zur Energieeinspeisung und Beeinflussung der Spannungsqualität bei unbekanntem und veränderlichen Netzzeigenschaften*. Dresden: technische Universität. 4 S. [www.e-technik.uni-rostock.de](http://www.e-technik.uni-rostock.de). 22.11.2007.

Im Folgenden werden konventionelle Techniken zur Blindstromkompensation erläutert.

In lokalen und regionalen Verteilnetzen werden zur Kompensation von Blindleistungen Parallelkondensatoren eingesetzt. Diese werden je nach Bedarf stufenweise zu- und abgeschaltet. Die Schaltung der Kondensatorstufen erfolgt entweder elektromechanisch (Relais) oder mit leistungselektronischen Mitteln.

Im Hoch- und Höchstspannungsnetz wird über die optimale Koordinierung zwischen Generatoren und Kompensationsanlagen der Blindleistungseinfluss verringert.

Zur Parallelkompensation werden konventionell SVC-Anlagen (Static Var Compensator – statischer Blindleistungskompensator) eingesetzt, die aus thyristorgeregelten Drosseln (TCR) und parallel geschalteten Kondensatoren bestehen. Eine SVC-Anlage wird direkt oder über einen Transformator an die Sammelschiene angeschlossen.



Abbildung 2-14 SVC in Newark, USA (Quelle: ABB)

Alternativ dazu werden zunehmend leistungselektronische Geräte eingesetzt, die abschaltbare Elemente enthalten und so selbstgeführte Kompensationsanlagen ermöglichen. Es handelt sich um statische Konverter (STATCOM – statischer Synchronkompensator). Von den herkömmlichen Elementen kommen nur noch Kondensatoren zur Glättung zum Einsatz. Die Blindleistungsbereitstellung erfolgt ausschließlich durch das Schaltverhalten der Kompensationsanlage. Die Blindleistung wird nicht über den Spannungsabfall mit kapazitiven oder induktiven Komponenten erzeugt. Da diese Kompensationsanlage lediglich aus einem Konverter, dessen erforderliche Beschaltung und einigen Filtereinheiten besteht, ergibt sich ein geringerer Platzbedarf. Der Gleichspannungsteil kann mit einer Batterie als Wirkenergiespeicher ausgeführt werden, sodass der STATCOM als schnell regelbarer Speicher arbeitet.



Abbildung 2-15 STATCOM (Quelle: ABB)

## 2.8 Bereitstellung von Regelenergie

Im öffentlichen Stromnetz muss das Leistungsgleichgewicht zwischen Bereitstellung und Verbrauch der elektrischen Energie gewährleistet sein. Deswegen wird Regelenergie benötigt, die nach Primär- und Sekundärregelleistung sowie Minutenreserveleistung bzw. Tertiärreserveleistung unterschieden wird.

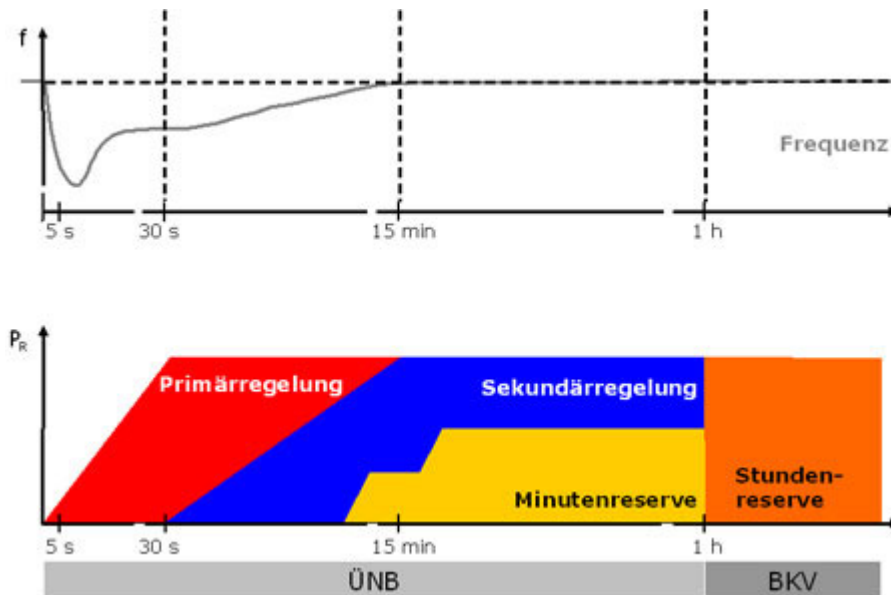


Abbildung 2-16 Regelenergie (Quelle: [www.energieverbraucher.de](http://www.energieverbraucher.de))

Während Primär- und Sekundärregelung zur Frequenz- und Leistungsregelung benötigt wird, stellt die Tertiärregelung Ausgleichsenergie bereit. Je Störung beträgt der mit Tertiärregelung abzudeckende Zeitraum kleiner 15 Minuten bis zu vier Viertelstunden. Bei mehreren Störungen sind bis zu mehrere Stunden abzudecken.

Um Regelenergie bereitstellen zu dürfen, muss das Präqualifikationsverfahren durchgeführt sein. In diesem Verfahren liefern die potentiellen Anbieter für Regelenergie den Nachweis, dass sie die notwendigen Anforderungen für die Bereitstellung von Regelenergie in den unterschiedlichen Formen im Hinblick auf die gewährleistete Versorgungssicherheit erfüllen. Die Verordnungen und Anforderungen, die zur Teilnahme am Minutenreservemarkt unter Einhaltung der Präqualifikationswürdigkeit berechtigen, sind im Vergleich zu den Ansprüchen in Bezug auf die Primär- und Sekundärregelleistung entschärft, sodass durchaus eine NaS-Batterie im Verbund eines virtuellen Kraftwerks zur Bereitstellung einer Minutenreserveleistung eingesetzt werden könnte.

Konventionell wird die Minutenreserve hauptsächlich von den unter Sekundärregelung laufenden, thermischen Kraftwerken und von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken sowie Gasturbinen bereitgestellt.

In den folgenden Varianten wird der Einsatz einer NaS-Batterie zur Teilnahme am Regelenergiemarkt untersucht. Dazu wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine NaS-Batterie zur Primärregelung und zur Minutenreserve aufgestellt.

### Variante 1: Primärregelung

Diese Variante beruht auf der Annahme, dass eine NaS-Batterie ausschließlich zur Primärregelung betrieben wird. In der Beispielrechnung ist eine Kombination aus einer NaS-Batterie mit 2.000 kW<sub>el</sub> und einer Netzanbindung mit 3.000 kW<sub>el</sub> angesetzt, da eine NaS-Batterie kurzzeitig eine höhere Leistung als die Nennleistung zur Verfügung stellen kann. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten einer solchen Anlage anhand von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Die Erlöse aus der Primärregelung werden separat ausgewiesen.

Die Preisentwicklung für die Primärregelung in Deutschland für den Zeitraum von 2001 bis 2006 ist im Diagramm dargestellt. Der mittlere Preis beträgt für eine vorgehaltenen Leistung in einem Zeitraum von einem halben Jahr 60 €/kW.

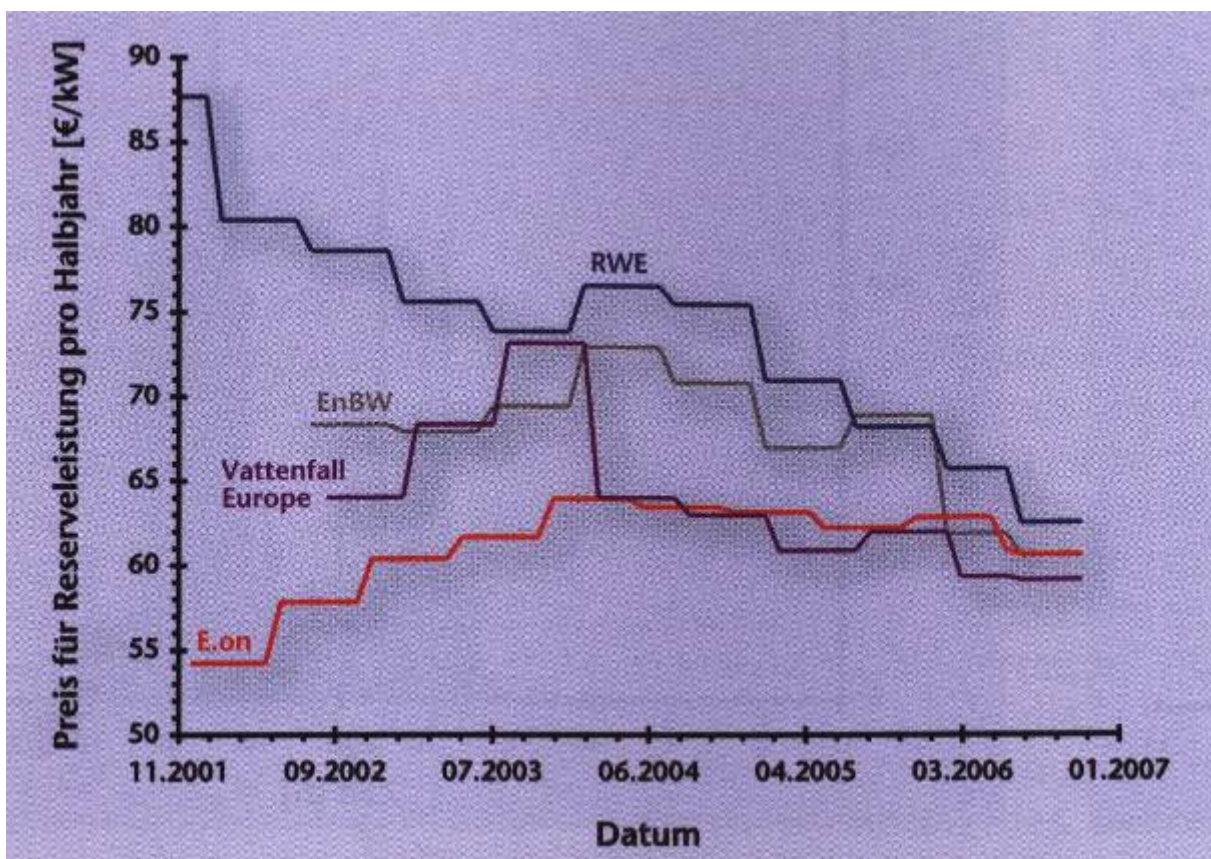


Abbildung 2-17 Preise für die Primärregelung in Deutschland  
(Quelle: BWK Bd. 58 2006 Nr. 11)

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	10 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	10 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Strom	8 Ct/kWh <sub>el</sub> <sup>13</sup>
--------------------	--------------------------------------

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung NaS-Batterie	0,05 % der Investition <sup>14</sup>
Personalkosten	30 €/h

### Bestimmung Gutschrift Primärregelung

spez. Erlös Primärregelung	120 €/(kWa)
----------------------------	-------------

Die Investitionskosten setzen sich wie folgt zusammen.

	NaS-Batterie
elektrische Leistung	2 (max. 3) MW <sub>el</sub>
<b>Maschinenteknik</b>	
NaS-Batterie mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	3.900.000 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>	
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	585.000 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>4.485.000 €</b>

Tabelle 2-5 Investitionskosten NaS-Batterie zur Primärregelung

<sup>13</sup> TSB: Annahme

<sup>14</sup> TSB: Annahme, derzeit keine Daten bekannt, angelehnt an Wartungsaufwand elektrische Anlagen



In der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind die Jahreskosten und die Erlöse berücksichtigt.

		<b>NaS Primärregelung</b>
elektrische Leistung	$MW_{el}$	2 (max. 3)
<b>Investitionskosten</b>	<b>€</b>	<b>4.485.000</b>
Kapitalkosten	€/a	609.368
Verbrauchskosten	€/a	40.000
Betriebskosten	€/a	21.069
Jahreskosten	€/a	670.437
Gutschrift Primärregelung	€/a	360.000
<b>Jahresgesamtkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>310.437</b>

Tabelle 2-6 Wirtschaftlichkeit NaS-Batterie Primärregelung

Die Gutschrift zur Primärregelung mit 360.000 €/a steht Jahreskosten in Höhe von ca. 670.400 €/a gegenüber. Aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung resultieren 15 Jahre als statische Amortisationsdauer, die über 10 Jahre als Abschreibungsdauer liegen.

Am Beispiel einer Gemeinde wurde der Einsatz einer NaS-Batterie zur Erhöhung der regenerativen Stromversorgung mit Fotovoltaik und Windkraft geprüft. Dazu wurde ebenfalls eine NaS-Batterie mit 2.000  $kW_{el}$  mit einer 3.000  $kW_{el}$  Netzanbindung kombiniert. Die Primärregelung würde einen zusätzlichen Nutzen der NaS-Batterie in der Stromversorgung darstellen. Da durch den Lastausgleich in der regenerativen Gemeindestromversorgung nicht die Gesamtleistung in Höhe von 3.000  $kW_{el}$  zur Verfügung steht, wird die mittlere elektrische Leistung im Lastverlauf eines Jahres bestimmt. Es wird angenommen, dass bis mindestens 40 % der maximalen Speicherkapazität die NaS-Batterie 3.000  $kW_{el}$  zur Verfügung stellen kann. Abhängig von der Speicherkapazität ergibt sich für alle 15-Minuten-Werte entweder 0  $kW_{el}$  oder 3.000  $kW_{el}$  als Leistung zur Primärregelung. Im Jahresmittel beträgt die Leistung 2.114  $kW_{el}$ .

Mit einer Gutschrift für Primärregelung ergeben sich 253.658 €/a zusätzliche Erlöse für eine NaS-Batterie in der Gemeindestromversorgung. Sie stehen 4.485.000 € Investitionskosten für eine NaS-Batterie gegenüber.

## Variante 2: Minutenreserve

Für die Bereitstellung einer Minutenreserve wird wieder das Beispiel einer Gemeinde herangezogen. Es wird davon ausgegangen, dass die Gemeinde durch Fotovoltaik, Windkraft, NaS-Batterie, Bioenergie-BHKW und stromerzeugende Heizungen vollständig mit Strom versorgt wird. Für die NaS-Batterie und die stromerzeugende Heizungen wären Zusatzerlöse durch Minutenreserve möglich. Das Bioenergie-BHKW wird nicht berücksichtigt, da es aufgrund der hohen Auslastung nicht zur Verfügung steht. Die Berechnung der mittleren Leistung, die von der NaS-Batterie einkalkuliert werden kann, erfolgt wie zuvor beschrieben. Durch veränderte Rahmenbedingungen beträgt die elektrische Leistung der NaS-Batterie für Minutenreserve  $2.510 \text{ kW}_{\text{el}}$ .

Für die stromerzeugende Heizungen wird für alle 15-Minuten-Werte die Differenz zwischen der installierten Gesamtleistung und der zur Gemeindestromversorgung benötigten, elektrischen Leistung gebildet und über ein Jahr gemittelt. Es ergeben sich  $2.391 \text{ kW}_{\text{el}}$ .

Die spezifische Gutschrift für Minutenreserve beträgt  $25.000 \text{ €/(MWa)}$ . Daraus resultieren insgesamt  $122.516 \text{ €/a}$  als Erlöse zur Minutenreserve für die stromerzeugende Heizungen und die NaS-Batterie. Sie stellen einen zusätzlichen Nutzen neben der Gemeindestromversorgung dar und stehen  $14.685.500 \text{ €}$  Investitionskosten gegenüber.

## 2.9 Symmetrierung von Stromnetzen

Im öffentlichen Stromnetz wird zur Übertragung und Verteilung in den Hochspannungsleitungen Drehstrom verwendet. Der Drehstrom ist ein Wechselstrom mit drei Phasen. Im symmetrischen System sind die Spannung und der Strom in den drei stromführenden Leitungen gleich groß und die Phasen um  $120^\circ$  gegeneinander verschoben.

Sobald eine dieser Bedingungen nicht mehr erfüllt ist, wird das System als unsymmetrisch bezeichnet. Meistens beruht die Unsymmetrie auf den unterschiedlichen Lasten einzelner Phasen. So sind Geräte der Niederspannung in der Regel einphasig. EDV-Anlagen oder Beleuchtung aber auch elektronische Umrichter von Fotovoltaikanlagen sind einphasig auf der Niederspannungsebene an das Stromnetz angeschlossen. Die Unsymmetrie führt zu einem ineffizienten Betrieb der häufig hoch belasteten Übertragungsnetze. Sie vermindert die Netzqualität insbesondere der Niederspannungsebene.

Um die Unsymmetrie zu verringern, sind die Lasten neu anzuordnen und umzuverteilen, damit das Netz symmetrischer belastet wird. Auch die Änderung von Betriebsparametern bei bestimmten Anwendungen kann die Unsymmetrie reduzieren. Eine weitere Möglichkeit bieten spezielle Transformatoren wie der Scott-Transformator und der Steinmetz-Transformator. Außerdem können spezielle, schnell reagierende elektronische Schaltkreise wie Blindstrom-Kompensatoren verwendet werden, diese werden allerdings nur für große Lasten eingesetzt, da sie teure Betriebsmittel darstellen. In der Entwicklung befinden sich daneben noch Systeme, die sowohl unsymmetrische Netze als auch andere Netzqualitätsprobleme lösen sollen.

Die Netzanbindung der NaS-Batterie kann mit ihrem Umrichtersystem ebenfalls die Unsymmetrie verringern. Der technische Hintergrund zur Funktionsweise kann z. B. aus einer Ausführung der Universität Rostock<sup>15</sup> entnommen werden.

---

<sup>15</sup> BALLANDT, F. (2007): *Regelung eines 3-phasigen Wechselrichters zur Energieeinspeisung und Beeinflussung der Spannungsqualität bei unbekanntem und veränderlichen Netzzeigenschaften*. Dresden: technische Universität. 4 S. [www.e-technik.uni-rostock.de](http://www.e-technik.uni-rostock.de). 22.11.2007.

### 3 Zusammenfassung

Während die NaS-Batterie (Natrium-Schwefel-Batterie) in Japan und USA in der Stromversorgung aufgrund anderer Rahmenbedingungen als in Europa schon eingesetzt wird, wurden in dieser Studie Einsatzmöglichkeiten einer NaS-Batterie und deren Wirtschaftlichkeit dargestellt.

Die NaS-Batterie als chemischer Stromspeicher kann für folgende Aufgaben eingesetzt werden.

- Notstromversorgung
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Kappen von Leistungsspitzen
- Vergleichmäßigung von regenerativem Strom
- Verminderung der Netzbelastung
- Vermeidung von Netzausbau durch dezentrale Pufferung
- Verbesserung der Stromqualität
- Bereitstellung von Regelenergie
- Symmetrierung von Stromnetzen

Zu manchen Einsatzgebieten wurde eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt, indem die NaS-Batterie mit der konventionellen Technik verglichen wurde. Für die einzelnen Aufgaben stellte sich die konventionelle Technik günstiger als die NaS-Batterie dar. Zur Bereitstellung von Regelenergie wurde der Einsatz einer NaS-Batterie mit den daraus resultierenden Erlösen bewertet, diese lagen jedoch über den Jahreskosten. Allerdings besteht der Vorteil der NaS-Batterie darin, dass mit einer Anlage einige Funktionen gleichzeitig abgedeckt werden können.