

Inhalt

Einleitung.....	3
1 Ist-Analyse	4
2 Vorstellung der Varianten	5
2.1 Variante 1: NaS-Batterie	5
2.2 Variante 2: Motor-BHKW	14
3 Energiebilanz	16
4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	17
5 Zusammenfassung	18
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	19

Einleitung

In Japan arbeitet TEPCO (Tokyo Electric Power Company) zusammen mit NGK Insulators, Ltd., an der Entwicklung von NaS-Batterien, von denen derzeit einige als Pilotprojekte betrieben werden. Der deutsche Partner des japanischen Unternehmens NGK Insulators, Ltd. ist die BASF AG.

Die Unternehmen haben das Ziel, die Batterie auf dem europäischen Markt zu platzieren. Aufgrund dessen werden Pilotprojekte gesucht. Rheinland-Pfalz könnte hier eine Vorreiterrolle in Europa übernehmen und diese Technik zur Anwendung bringen.

Mit einem Leistungsbereich von $50 \text{ kW}_{\text{el}}$ bis ca. $20 \text{ MW}_{\text{el}}$ können die NaS-Batterien als Stromspeicher für verschiedene Anlagen eingesetzt werden. Damit stellen diese eine technische Alternative zu einem Netzausbau dar, wenn die vorhandene Netzkapazität nicht ausreicht.

Von TEPCO und NGK ist eine NaS-Batterie mit $500 \text{ kW}_{\text{el}}$ als kleinste Modulgröße für Pilotprojekte vorgesehen. Deswegen wird für einen Automobilzulieferer mit einer maximalen Durchschnittsleistung von $17 \text{ MW}_{\text{el}}$ der Einsatz einer NaS-Batterie untersucht. Ein Kunststoffverarbeiter mit einem Leistungsbedarf von ca. $200 \text{ kW}_{\text{el}}$ kann aufgrund des vorgegebenen Leistungsbereichs hier nicht näher betrachtet werden.

Um eine solche Anlage bewerten zu können, wird diese dem Ist-Zustand und dem Einsatz eines Motor-BHKWs gegenübergestellt.

Für die Untersuchung wird zunächst der Lastverlauf des Stromverbrauchs analysiert, um die Anlagen bedarfsgerecht auslegen zu können. Darauf baut dann eine Energiebilanz und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf.

In der abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt, sodass diese als Entscheidungshilfe zur Anlagenauswahl beitragen können.

1 Ist-Analyse

Grundlage der Berechnungen ist der zur Verfügung gestellte Lastverlauf zum Stromverbrauch des Automobilzulieferers. Im folgenden Diagramm ist der Lastverlauf vom 01.01.2003 bis zum 01.09.2004 abgebildet.

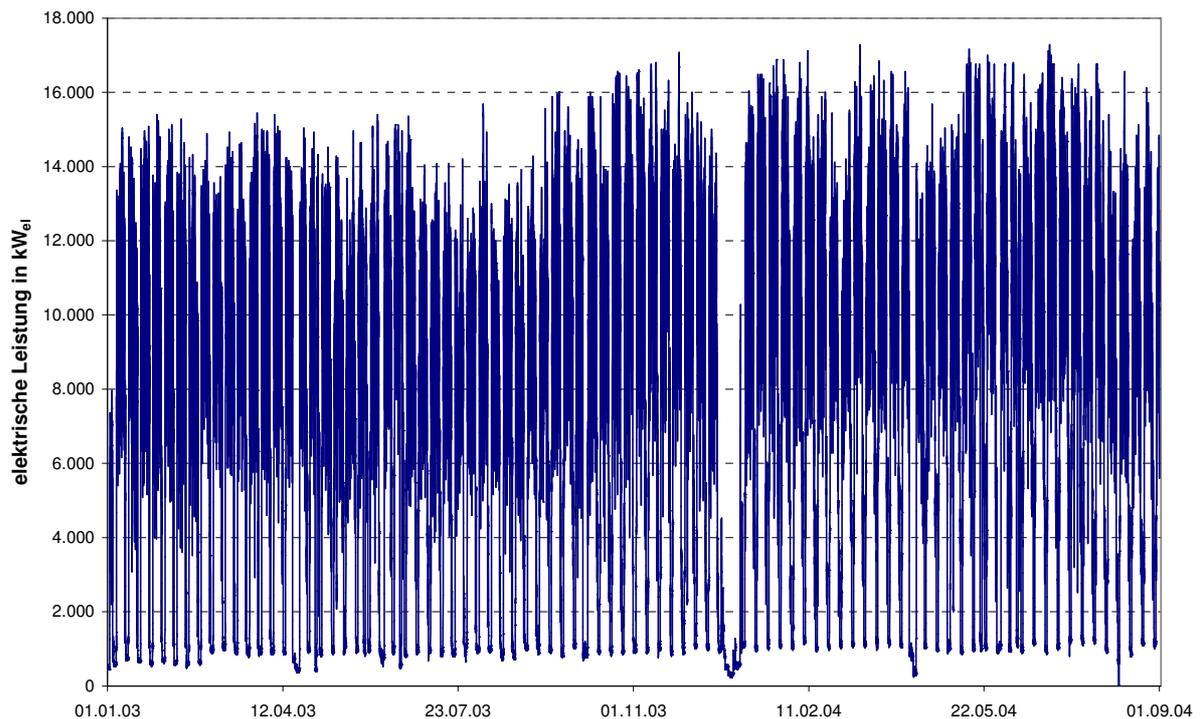


Abbildung 1-1 Lastgang elektrische Leistung, Ist-Zustand

Das Diagramm zeigt anschaulich, dass sich die in der Viertelstunde gemessene Durchschnittsleistung zwischen 0 MW_{el} und 17,28 MW_{el} bewegt.

Der Automobilzulieferer hat zunächst angedacht, die Leistungsspitze auf etwa 14 MW_{el} zu reduzieren.

Der jährliche Stromverbrauch, der aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen ermittelt wurde, ist in der Tabelle aufgeführt.

		01.01.03 - 31.12.03	01.09.03 - 31.08.04
Stromverbrauch	MWh _{el} /a	65.549	72.854
minimale 15-Minuten-Leistung	kW _{el}	240	0
maximale 15-Minuten-Leistung	kW _{el}	17.080	17.280

Tabelle 1-1 Stromverbrauch Ist-Zustand

Für die Berechnungen wird davon ausgegangen, dass ein jährlicher Stromverbrauch von etwa 73.000 MWh_{el}/a vorliegen und die maximale Durchschnittsleistung rund 17 MW_{el} beträgt.

2 Vorstellung der Varianten

Die Technik der zu untersuchenden Varianten werden zusammen mit der Auslegung der Anlagengröße kurz vorgestellt.

Als Vergleichsgrundlage wird der Ist-Zustand herangezogen.

2.1 Variante 1: 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), die auch als Zebra-Batterie bezeichnet wird, ist zylindrisch aufgebaut. Im Innern befindet sich die Natriumelektrode, die aus Sicherheitsgründen von einer Metallhülle umgeben ist. Auf der Außenseite schließt sich β -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.

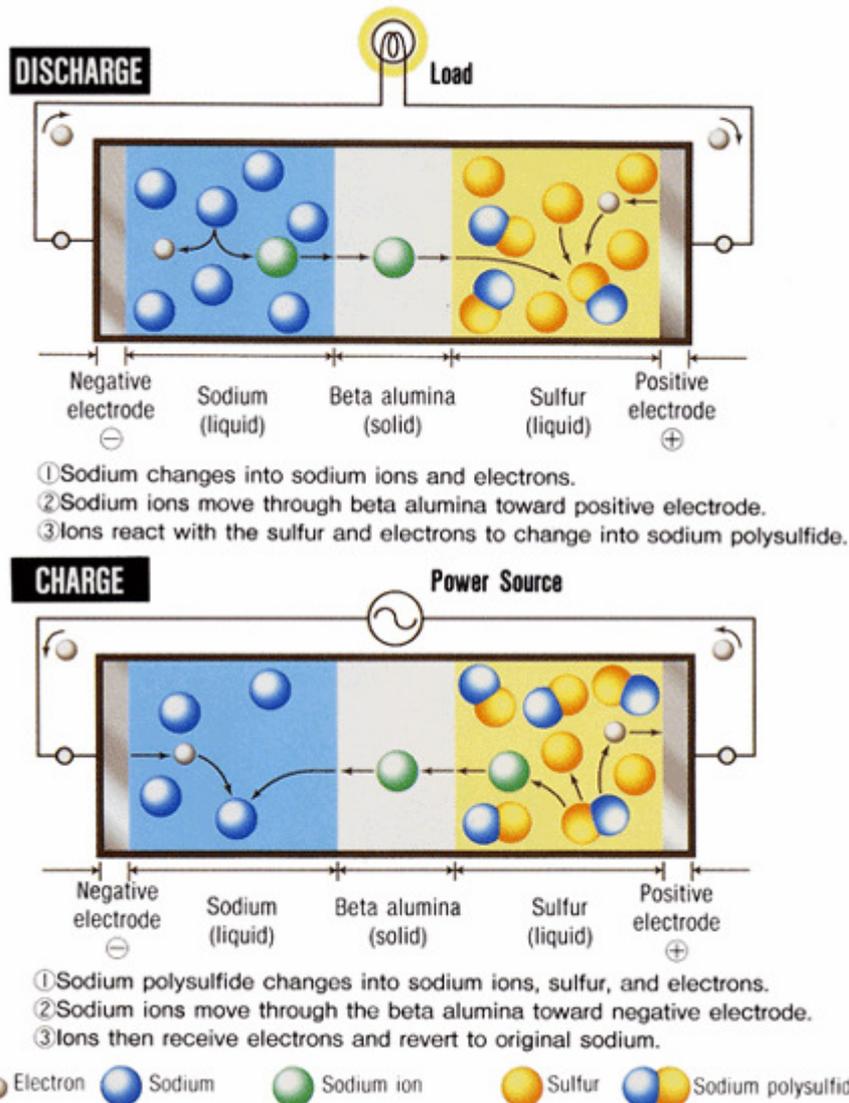


Abbildung 2-1 Funktionsschema einer NaS-Batteriezelle (Quelle: New IERE, Japan)

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.

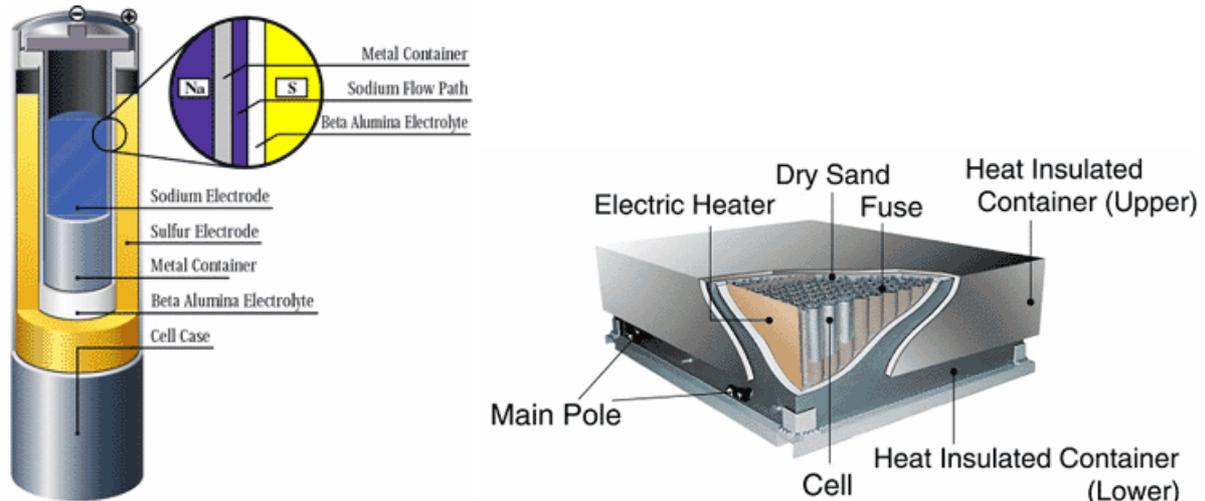


Abbildung 2-2 Schema Zelle und Batteriemodul (Quelle: New IERE, Japan)

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 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.

Der Wartungsaufwand beschränkt sich auf eine routinemäßige Inspektion.

Die Batteriemodule können in Reihe und/oder parallel geschaltet werden. So besteht z. B. ein 1 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 MW -Block eine Kapazität von $8,6 \text{ MWh}$. Mit dem System „Power quality“ steht mit einem 1 MW -Block für 30 Sekunden eine Leistung von 5 MW_{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.

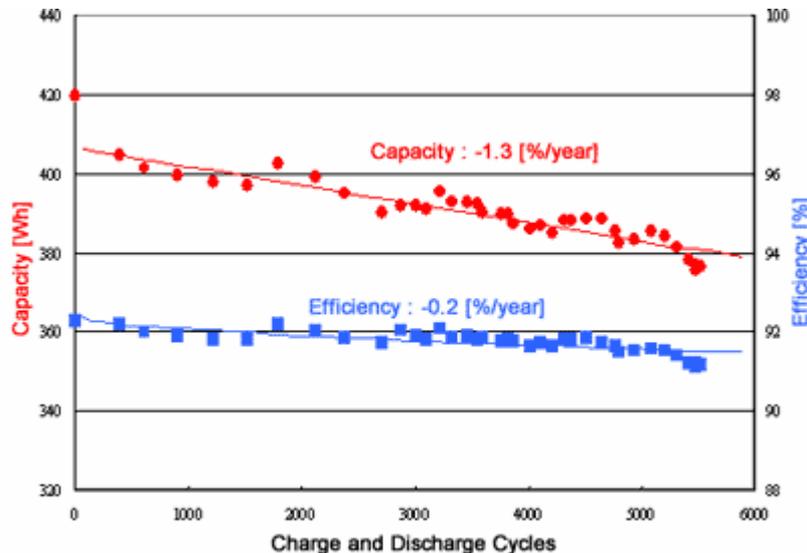


Abbildung 2-3 Kapazität und Wirkungsgrad für NaS-Batterie (Quelle: New IERE, Japan)

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.

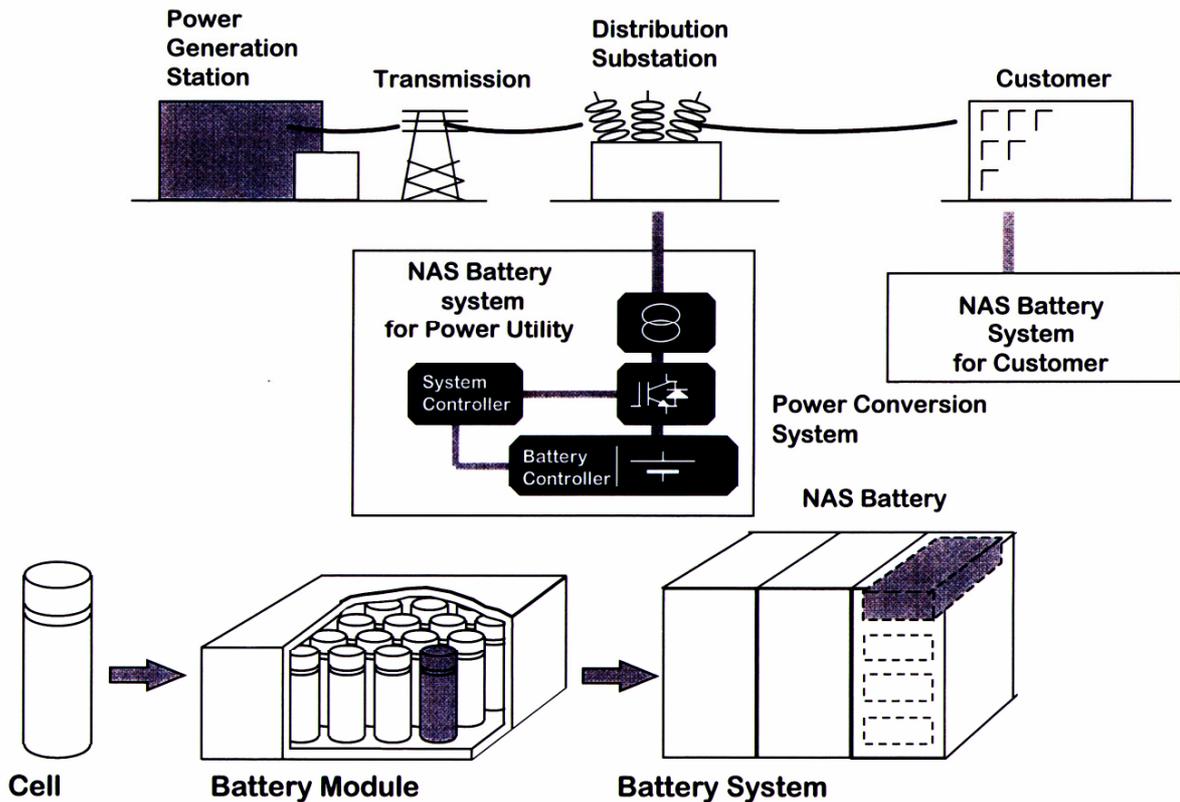


Abbildung 2-4 Schema NaS-Batterie-System (Quelle: NGK Insulators, Ltd.)

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.



Abbildung 2-5 Drei 2 MW_{el} NaS-Batterie-Anlage in Ohito (Quelle: New IERE, Japan)

Auslegung einer NaS-Batterie-Anlage für Automobilzulieferer

Zunächst wird die elektrische Leistung der NaS-Batterie nach der Differenz zwischen maximaler Durchschnittsleistung und begrenzter Maximalleistung ausgelegt. Die höchsten Durchschnittswerte bewegen sich in einem Bereich von 14 bis 16 MW_{el} bis maximal etwa 17 MW_{el}. Da vom Automobilzulieferer eine Reduzierung der Leistungsspitze auf etwa 14 MW_{el} als Zielwert angestrebt wird, würde sich eine 2 MW_{el} NaS-Batterie-Anlage ergeben.

Das folgende Diagramm stellt den Lastverlauf mit einer 2 MW_{el} NaS-Batterie dar.

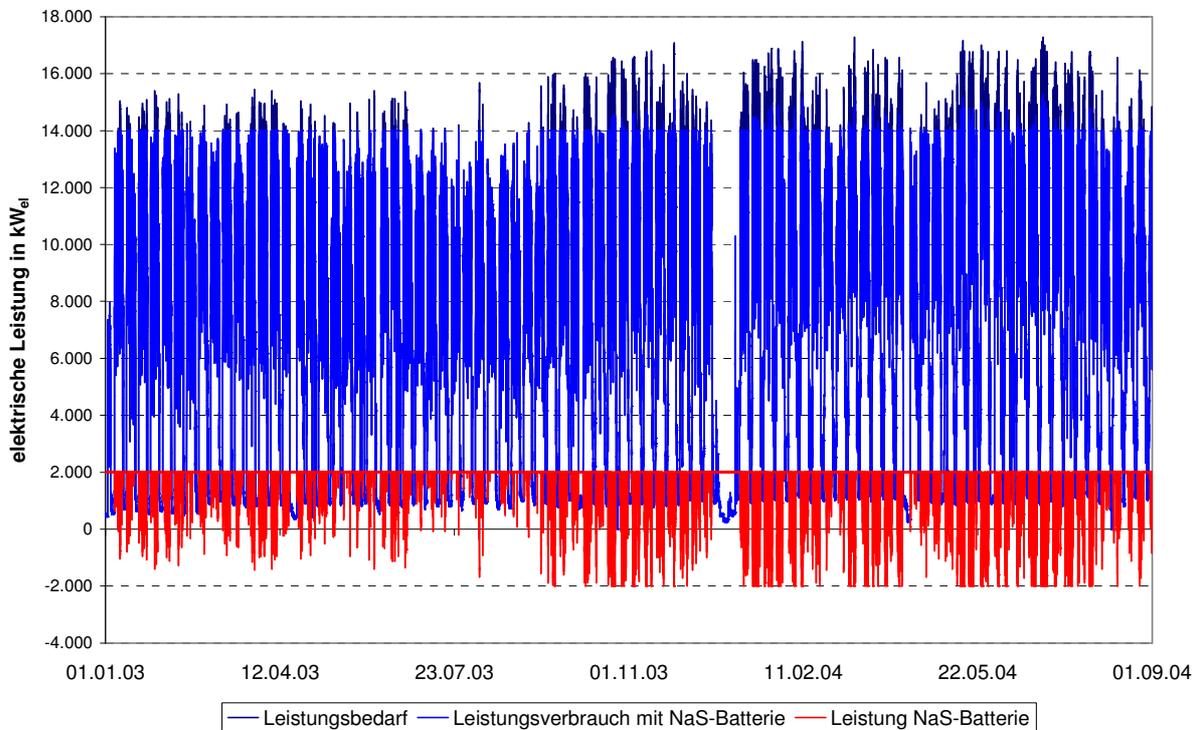


Abbildung 2-6 Lastgang elektrische Leistung mit 2 MW_{el} NaS-Batterie

Das Diagramm zeigt, dass mit einer 2 MW_{el} NaS-Batterie die maximale, elektrische Leistung bis auf ein paar Ausnahmen auf 14 MW_{el} begrenzt werden kann.

Nicht nur der Lastgang sondern auch die elektrische Arbeit der Batterie wird betrachtet. Das folgende Diagramm stellt den Verlauf der elektrischen Speicherkapazität der 2 MW_{el} NaS-Batterie dar.

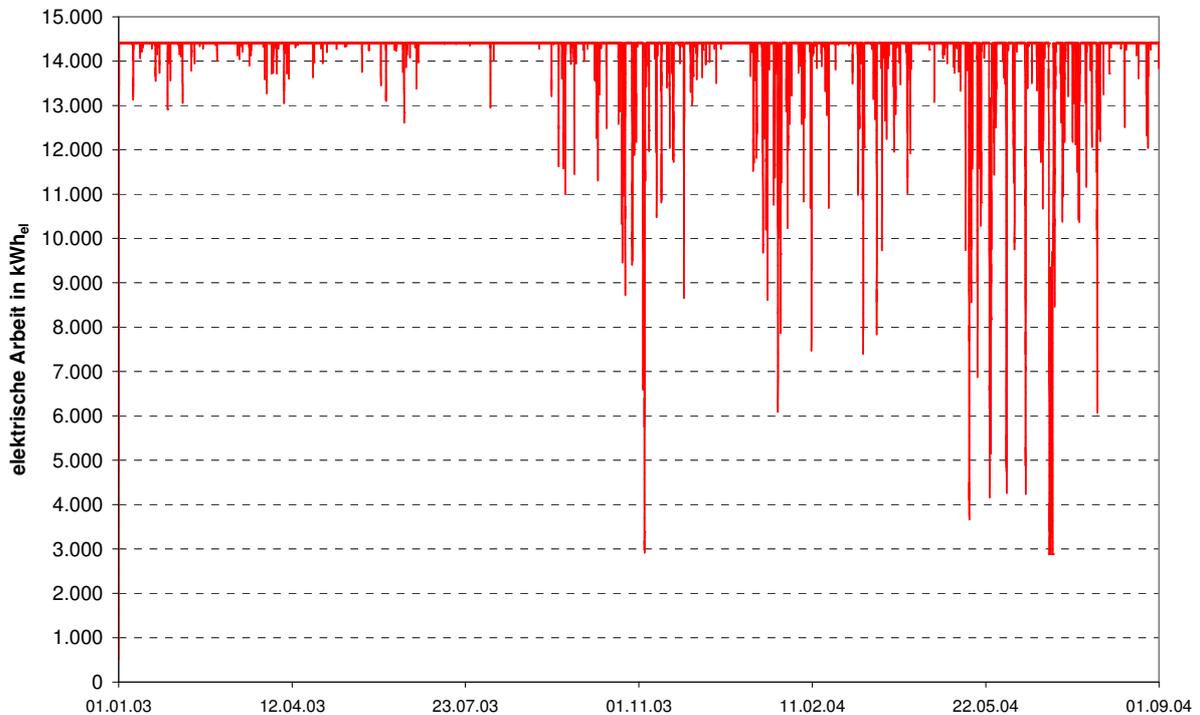


Abbildung 2-7 Verlauf der elektrischen Speicherkapazität der 2 MW_{el} NaS-Batterie

Da bis zu 80 % der Batteriekapazität genutzt werden kann, beträgt die minimale Kapazität 2,88 MWh_{el}.

Der Verlauf der Batteriekapazität zeigt, dass die NaS-Batterie die maximal gespeicherte, elektrische Arbeit selten vollständig benötigt wird.

Aufgrund der Gegebenheit wird nun eine 1 MW_{el} NaS-Batterie untersucht, die mit einer 2 MW_{el} Netzanbindung (Power Conversion System) kombiniert wird, damit kann die Leistungsreduzierung auf 14 MW_{el} ermöglicht werden und die Batteriekapazität effizienter genutzt werden.

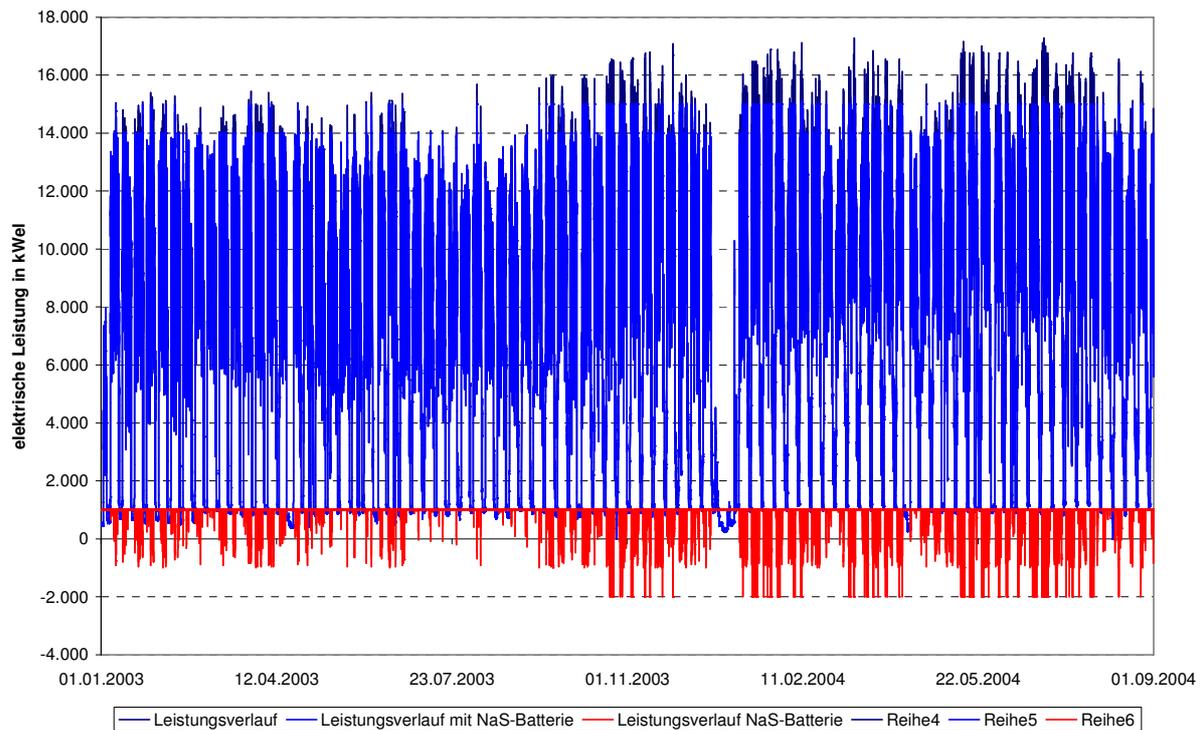


Abbildung 2-8 Lastgang elektrische Leistung mit 1 MW_{el} NaS-Batterie

Die Abbildung zeigt, dass in der Regel eine Leistung von 1 MW_{el} ausreicht um die Spitzen zu reduzieren. Bei Bedarf leistet die NaS-Batterie auch 2 MW_{el}.

Das Diagramm zur elektrischen Kapazität der Batterie veranschaulicht die Auslastung der NaS-Batterie.

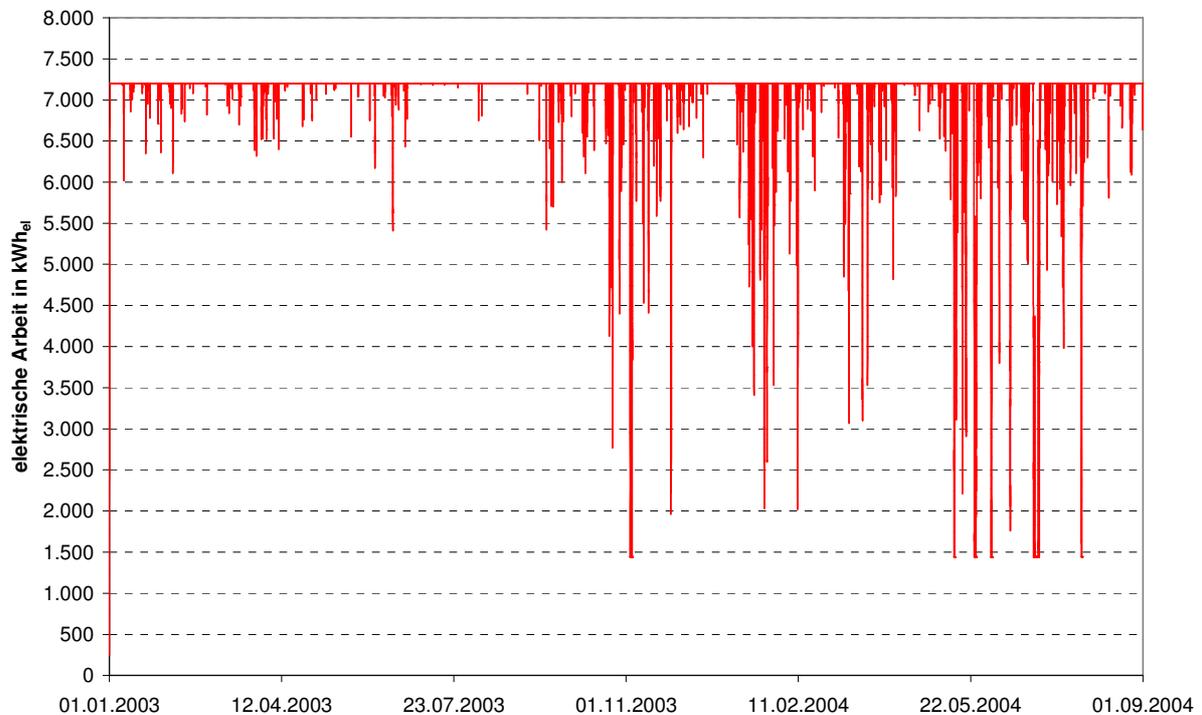


Abbildung 2-9 Verlauf der elektrischen Speicherkapazität der 1 MW_{el} NaS-Batterie

Im Vergleich zur 2 MW_{el} NaS-Batterie wird deutlich, dass die Batterie eine höhere Auslastung aufweist.

Sowohl aus technischer Sicht als auch aus wirtschaftlichen Gründen wird für die weiteren Berechnungen eine NaS-Batterie mit 1 MW_{el} elektrische Leistung und ein Power Conversion System für 2 MW_{el} zu Grunde gelegt.

Da die Batterie-Anlage aus einzelnen Zellen und Modulen modular aufgebaut ist, wird für die Untersuchung davon ausgegangen, dass der Einsatz zu einer Reduzierung der Stromleistungsspitze um 2 MW_{el} führt. Falls eine Zelle oder ein Modul ausfällt, steht durch die Zusammenschaltung immer noch eine ausreichend große Leistung zur Verfügung.

2.2 Variante 2: Motor-BHKW

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt. Die freiwerdende Wärme des Motors kann in das Wärmenetz eingespeist werden. Die Kraft-Wärme-Kopplung ermöglicht eine effizientere Nutzung des eingesetzten Brennstoffs, da zusätzlich zur Stromerzeugung die entstehende Abwärme nutzbar ist.



Abbildung 2-10 Motor-BHKW (Quelle: MAN Dezentrale Energiesysteme)

Für den Einsatz beim Automobilzulieferer ist ein stromgeführter Betrieb erforderlich, um die angestrebte Leistungsreduzierung des Netzstrombezugs zu erhalten. Die bei der Stromerzeugung frei werdende Wärme kann ins Heizungsnetz eingespeist werden.

Da die NaS-Batterie-Anlage modular aufgebaut ist, wird für eine BHKW-Anlage aus zwei BHKWs betrachtet, sodass bei Ausfall oder Wartungsarbeiten ein BHKW weiter betrieben werden kann.

Die Auslegung der elektrischen Leistung der BHKW-Anlage erfolgt nach der Differenz zwischen der angestrebten, elektrischen Höchstleistung von $14 \text{ MW}_{\text{el}}$ und der vorhandenen Maximalleistung. Die höchsten Durchschnittswerte bewegen sich in einem Bereich von 14 bis $16 \text{ MW}_{\text{el}}$ bis maximal ca. $17 \text{ MW}_{\text{el}}$. Um die angestrebte Verringerung zu erreichen, ist eine elektrische Leistung von 2 MW_{el} für die BHKW-Anlage erforderlich. Diese Leistung kann durch zwei BHKWs mit 1 MW_{el} elektrische Leistung abgedeckt werden.

Um ein BHKW wirtschaftlich zu betreiben, ist eine hohe Auslastung durch eine hohe Vollbenutzungsstundenzahl von über 5.000 h/a notwendig. Mit den BHKWs würde nicht nur der Strombedarf oberhalb von $14 \text{ MW}_{\text{el}}$ abgedeckt werden sondern auch der gesamte erzeugte Strom während des BHKW-Betriebs ins Hausnetz eingespeist werden. Für die Bestimmung der möglichen Vollbenutzungsstunden wird eine Jahresdauerlinie der Stromleistung vom 01.09.2003 bis zum 31.08.2004 herangezogen, die aus den zur Verfügung gestellten Daten erstellt wurde.

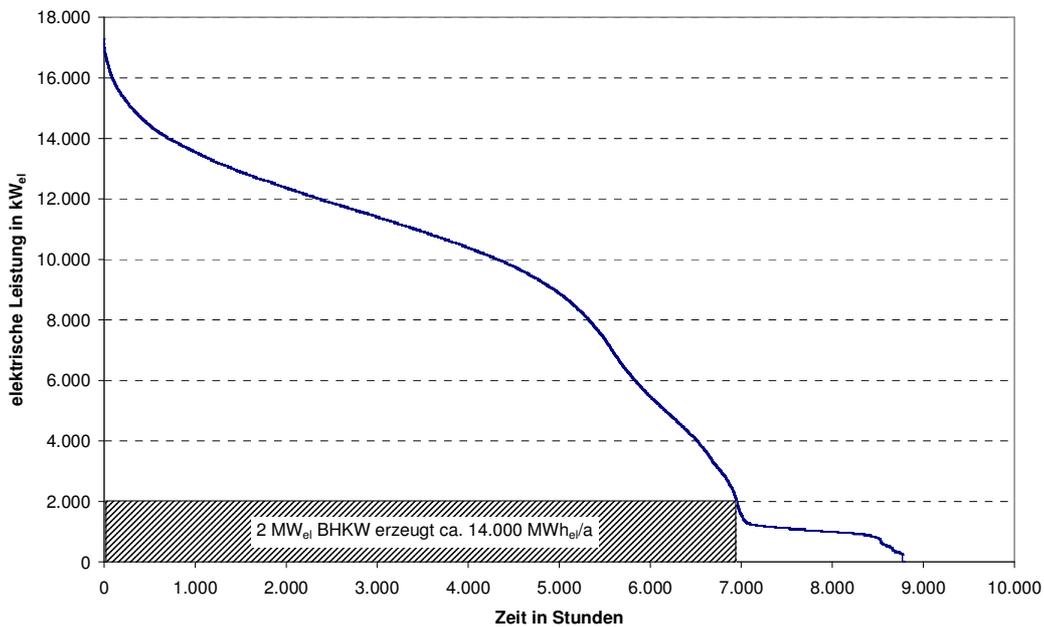


Abbildung 2-11 Jahresdauerlinie Stromverbrauch 01.09.2003 - 31.08.2004

Mit einer elektrischen Leistung von 2 MW_{el} kann das BHKW ca. 7.000 h/a betrieben werden. Für den stromgeführten Betriebs wird angenommen, dass im Sommer keine Heizwärme benötigt wird, sodass nur die Wärme, die während 7.000 h/a Vollbenutzungsstunden der BHKWs erzeugt wird, ins Heiznetz eingespeist werden kann.

Durch eine BHKW-Anlage mit zwei Geräten wird eine Reduzierung der elektrischen Leistungsspitze um 1 MW_{el} für die weiteren Betrachtungen angenommen. Dies beruht darauf, dass ein BHKW von den beiden in Betrieb ist, während das andere z. B. gewartet werden kann.

3 Energiebilanz

In der Energiebilanz werden die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen der untersuchten Varianten angegeben. Dazu wird nur die Einsparung und der Mehraufwand gegenüber dem Ist-Zustand herangezogen.

		Variante 2 NaS-Batterie	Variante 3 BHKW
elektrische Leistung Anlage	MW _{el}	1 (max. 2)	2 (2 x 1)
Verringerung Leistungsbedarf	MW _{el}	2	1
Strombereitstellung NaS-Batterie	MWh _{el} /a	450	
Nutzungsgrad NaS-Batterie	%	75	
Netzstrombezug Batterie laden	MWh _{el} /a	600	
Vollbenutzungsstunden BHKW	h/a		7.000
Stromerzeugung BHKW	MWh _{el} /a		14.000
Hilfsenergiebedarf Strom BHKW	MWh _{el} /a		175
elektrischer Wirkungsgrad BHKW	%		38
Brennstoffbedarf BHKW	MWh _{H_u} /a MWh _{H_o} /a		36.842 40.526
thermische Leistung BHKW	MW _{th}		2,5
thermischer Wirkungsgrad BHKW	%		48
Wärmebereitstellung	MWh _{th} /a		15.000
vermiedener Brennstoffbedarf	MWh _{H_u} /a		18.750
vorhandene Heizanlage	MWh _{H_o} /a		20.625
Mehraufwand Erdgasmenge	m ³ /a		1.809.211

Tabelle 3-1 Energiebilanz

Da das BHKW neben Strom auch Wärme bereitstellt, wird in der Bilanz auch die erzeugte Wärmemenge, die als Heizwärme genutzt werden kann, bzw. der vermiedene Brennstoffbedarf der vorhandenen Heizanlage aufgeführt.

4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Investitionskosten für die beiden unterschiedlichen Anlagen ermittelt.

	Variante 1 NaS-Batterie	Variante 2 BHKW
elektrische Leistung	1 (max. 2) MW _{el}	2 MW _{el}
Maschinentchnik		
NaS-Batterie mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	2.100.000 €	
Erdgas-BHKW mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		838.800 €
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	315.000 €	125.800 €
Gesamtinvestition	2.415.000 €	964.600 €

Tabelle 4-1 Investitionskosten

Die Investitionskosten liegen um einige Größenordnungen auseinander, sodass dies hohe Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit erwarten lässt.

Neben den deutlich höheren Investitionskosten und dem höheren Stromverbrauch für eine NaS-Batterie würden sich höhere Jahreskosten als im Ist-Zustand ergeben, während eine BHKW-Anlage mit den Erlösen aus der Strom- und der zusätzlichen Wärmebereitstellung die höheren Verbrauchs- und Betriebskosten ausgleichen und so Jahreskosten einsparen würde.

5 Zusammenfassung

Die japanische Unternehmen TEPCO (Tokyo Electric Power Company) und NGK Insulators, Ltd., entwickeln NaS-Batterien, von denen einige als Pilotprojekt betrieben werden. Sie haben das Ziel, die NaS-Batterie auf dem europäischen Markt zu platzieren. Der deutsche Partner des japanischen Unternehmens NGK Insulators, Ltd. ist die BASF AG. Wenn in Rheinland-Pfalz die erste Anlage eingesetzt wird, könnte es hier eine Vorreiterrolle in Europa übernehmen.

Da als kleinste Modulgröße für ein Pilotprojekt eine NaS-Batterie mit 500 kW_{el} vorgesehen ist, befasste sich die Studie mit dem Einsatz einer NaS-Batterie bei einem Automobilzulieferer als möglicher Industrieanwender in Rheinland-Pfalz.

Der andere vorgeschlagene Betrieb eines Kunststoffverarbeiters mit 200 kW_{el} als Stromleistungsbedarf konnte hier nicht betrachtet werden.

Zur Bewertung der NaS-Batterie wurde diese Technik dem Ist-Zustand und dem Einsatz eines Motor-BHKWs zur Leistungsreduzierung gegenübergestellt.

Anhand des zur Verfügung gestellten Stromlastverlaufs vom Automobilzulieferer wurden die Anlagen entsprechend dem Bedarf ausgelegt. Die maximale 15-Minuten-Leistung beträgt für den Zeitraum vom 01.01.2003 bis zum 01.09.2004 17,28 MW_{el}. Der jährliche Stromverbrauch liegt bei etwa 73.000 MWh_{el}/a.

Vom Automobilzulieferer wird eine Reduzierung der Leistungsspitze auf etwa 14 MW_{el} angestrebt.

Die Technik der folgenden Varianten wurde zunächst mit der Auslegung kurz vorgestellt.

Mithilfe einer Energiebilanz und einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Varianten bewertet.

Fazit:

Das Ergebnis der Machbarkeitsstudie zeigt, dass im Vergleich zum Ist-Zustand und zu einer BHKW-Anlage die Investitionskosten für eine NaS-Batterie für eine wirtschaftliche Anwendung in einem Industriebetrieb erwartungsgemäß hoch sind.

Zu berücksichtigen ist, dass in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur die Reduzierung der elektrischen Spitzenleistung bewertet wird. Daneben führt der Einsatz einer NaS-Batterie dazu, dass der Strombezug eine höhere Auslastung durch die Glättung der Stromleistungsspitzen erhält, was von dem Energieversorger durch eine Reduzierung des Strompreises anerkannt wird.

Ein weiterer Vorteil besteht in der Notstromversorgung durch eine NaS-Batterie. Außerdem stellt eine solche Anlage eine Alternative zu einem Netzausbau dar.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lastgang elektrische Leistung, Ist-Zustand	4
Abbildung 2-1 Funktionsschema einer NaS-Batteriezelle (Quelle: New IERE, Japan) .	6
Abbildung 2-2 Schema Zelle und Batteriemodul (Quelle: New IERE, Japan)	7
Abbildung 2-3 Kapazität und Wirkungsgrad für NaS-Batterie (Quelle: New IERE, Japan)	8
Abbildung 2-4 Schema NaS-Batterie-System (Quelle: NGK Insulators, Ltd.).....	9
Abbildung 2-5 Drei 2 MW _{el} NaS-Batterie-Anlage in Ohito (Quelle: New IERE, Japan) .	9
Abbildung 2-6 Lastgang elektrische Leistung mit 2 MW _{el} NaS-Batterie	10
Abbildung 2-7 Verlauf der elektrischen Speicherkapazität der 2 MW _{el} NaS-Batterie ..	11
Abbildung 2-8 Lastgang elektrische Leistung mit 1 MW _{el} NaS-Batterie	12
Abbildung 2-9 Verlauf der elektrischen Speicherkapazität der 1 MW _{el} NaS-Batterie ..	13
Abbildung 2-10 Motor-BHKW (Quelle: MAN Dezentrale Energiesysteme).....	14
Abbildung 2-11 Jahresdauerlinie Stromverbrauch 01.09.2003 - 31.08.2004	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Stromverbrauch Ist-Zustand	5
Tabelle 3-1 Energiebilanz.....	16
Tabelle 4-1 Investitionskosten	17