

Konzeption einer Pilotanwendung der NaS-Batterie am Beispiel des Jugendhilfezentrums der ctt in Aach

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
Datum: 26.04.2006

Transferstelle Bingen · Berlinstr. 109 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl

Tel: 06721 / 409 218

Fax: 06721 / 409 184

pohl@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs

Tel: 06721 / 409 296

Fax: 06721 / 409 184

kriebs@tsb-energie.de

im

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

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
1 Ist-Analyse	4
1.1 Stromverbrauch im Ist-Zustand.....	5
1.2 Abgeschätzter Stromverbrauch nach Erweiterung	7
2 Vorstellung der Technik zur Regenerativstromversorgung	9
2.1 Windkraftanlage.....	9
2.2 Fotovoltaikanlage.....	12
2.3 Vergleich der Lastgänge zum Stromverbrauch und zur Stromerzeugung	14
2.4 Elektrochemische Stromspeicherung mit der Natrium-Schwefel-Batterie.....	17
3 Auslegung einer NaS-Batterie	26
3.1 NaS-Batterie mit 150 kW _{el}	26
3.2 NaS-Batterie mit 3.600 kW _{el}	31
4 Versorgungslücke bei Stromerzeugung mit Wind, Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie	34
4.1 Optimierung des Stromverbrauchs.....	38
4.2 Umsetzungsmöglichkeiten Bioenergie-BHKW als Regelenergieanlage	39
5 Wirtschaftlichkeit einer technisch umsetzbaren NaS-Batterie-Anlage	44
5.1 Wirtschaftlichkeit NaS-Batterie.....	44
5.2 Wirtschaftlichkeit Stromversorgung Jugendhilfezentrum.....	47
6 Zusammenfassung	51

Einleitung

Die effiziente Speicherung von elektrischer Energie ist ein lang gehegter Wunsch in der Energieversorgung. Die Natrium-Schwefel-Batterie (NaS), die in Japan zu einem Serienprodukt entwickelt wurde, könnte den Einstieg in eine dezentrale regenerative Stromversorgung ermöglichen.

Für das Jugendhilfezentrum „Haus auf dem Wehrborn“ der Caritas Trägergesellschaft Trier e. V. (ctt) in Aach wird hier beispielhaft untersucht, wie eine Stromversorgung mit einem möglichst hohen Anteil an regenerativer Erzeugung umgesetzt werden kann.

Aufgrund der Lage des Jugendhilfezentrums außerhalb einer Ortschaft ist dort ein eigener Stromanschluss installiert. Durch die geplante Erweiterung der Schreinerei und Wäscherei im Jugendhilfezentrum kann der vorhandene Niederspannungsanschluss nicht mehr die elektrische Spitzenleistung zur Verfügung stellen, sodass ein neuer Mittelspannungsanschluss erforderlich ist. Anstelle dessen wird geprüft, ob eigene Stromerzeugungsanlagen zusammen mit einer NaS-Batterie dies vermeiden.

Konkret soll die Machbarkeit der Deckung des Bedarfs mit Windkraft-, Fotovoltaik- und Pflanzenöl-BHKW-Strom unter Zuhilfenahme einer NaS-Batterie geprüft werden.

Charakteristisch für regenerative Stromerzeugung aus Wind oder Solarstrahlung ist die Abhängigkeit vom Wind- und Strahlungsangebot. Somit liegen Schwankungen im Lastverlauf vor. Die Stromerzeugung ist nicht synchron zum Strombedarf, so dass für eine autarke Stromversorgung mit Windkraft und Fotovoltaik eine Stabilisierung der Stromerzeugung für die Deckung des Strombedarfs notwendig ist. Dazu wird in der Studie neben einem Pflanzenöl-BHKW der Einsatz einer NaS-Batterie zur Stromspeicherung betrachtet.

Zunächst wird der Strombedarf des Jugendhilfezentrums anhand von zur Verfügung gestellten Daten ermittelt. Mit einer Überlagerung des Strombedarfs durch die regenerative Stromerzeugung werden die Deckung und der fehlende Bedarf ermittelt. Darauf baut die Auslegung einer NaS-Batterie auf.

Die Bewertung der Versorgung mit regenerativem Strom für das Jugendhilfezentrum erfolgt aus ökologischer Sicht mit einer Kohlendioxidemissionsbilanz. Zur ökonomischen Beurteilung wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Außerdem erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der möglichen Umsetzung als Pilotprojekt.

1 Ist-Analyse

Das Jugendhilfezentrum „Haus auf dem Wehrborn“ ist auf eine nachklinische Betreuung von chronisch psychiatrisch erkrankten Mädchen und Jungen spezialisiert. Zur Einrichtung gehören Wohngebäude der Jugendlichen, eine Hauptschule, ein Kindergarten, ein Fortbildungszentrum für Mitarbeiter, ein Hallenbad, eine Turnhalle, eine Schreinerei und eine Wäscherei. In sechs Gruppenhäusern wohnen jeweils 12 bis 18 Jugendliche mit ein bis zwei Betreuern und in drei Gruppenhäusern jeweils sechs Personen. In den drei Tagungshäusern können jeweils maximal 20 Gäste untergebracht werden. Der Kindergarten, der auch von den umliegenden Gemeinden genutzt werden kann, ist mit 150 Kindern ausgelastet.



Abbildung 1-1 Luftaufnahme Jugendhilfezentrum „Haus auf dem Wehrborn“
(Quelle: www.jugendhilfezentrum-wehrborn.de)

Es ist vorgesehen, dass die Schreinerei zu einer Ausbildungswerkstatt ausgebaut werden soll. Durch die Erweiterung wird sich die installierte, elektrische Leistung der Anlagen und Geräte um ca. 40 kW_{el} erhöhen.

Auch die Wäscherei dient Ausbildungszwecken. Dort ist die Umstellung der bisher mit Thermoöl beheizten Geräten auf elektrisch beheizte Geräte vorgesehen, sodass sich die installierte, elektrische Leistung der Geräte um ca. 55 kW_{el} erhöhen wird.

Derzeit liegt die elektrische Spitzenleistung zwischen 100 und 130 kW_{el}. Nach Rücksprache mit Hausmeister Herr Diehl ist mit einer Erhöhung der elektrischen Leistung unter Berücksichtigung einer Gleichzeitigkeit von etwa 20 bzw. 47,5 kW_{el} in den Nutzungszeiten der Schreinerei und Wäscherei zu rechnen. Damit wird durch die geplante Erweiterung der vorhandene Niederspannungsanschluss des Jugendhilfezentrums mit einer maximalen, elektrischen Leistung von 160 kW_{el} nicht mehr ausreichen.

Als konventionelle Maßnahme ist ein neuer Mittelspannungsanschluss erforderlich, der die höhere Leistung bereitstellt. Im vorangegangenen „Energiekonzept zum Einsatz erneuerbarer Energien „Haus auf dem Wehrborn“¹ der Transferstelle Bingen wurde der Einsatz eines Motor-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 30 kW_{el} bis maximal 50 kW_{el} anstelle eines neuen Stromanschlusses vorgeschlagen. In dieser Studie wird untersucht, ob eine eigene Stromversorgung auf Basis regenerativen Energien in Verbindung mit einer NaS-Batterie als Stromspeicher möglich ist, um einen neuen Mittelspannungsanschluss zu vermeiden.

1.1 Stromverbrauch im Ist-Zustand

Der derzeitige Stromverbrauch stellt sich wie folgt dar.

Anhand der zur Verfügung gestellten Daten zum Stromverbrauch von 2004 wird ein Lastgang aus den 15-Minuten-Leistungen ermittelt.

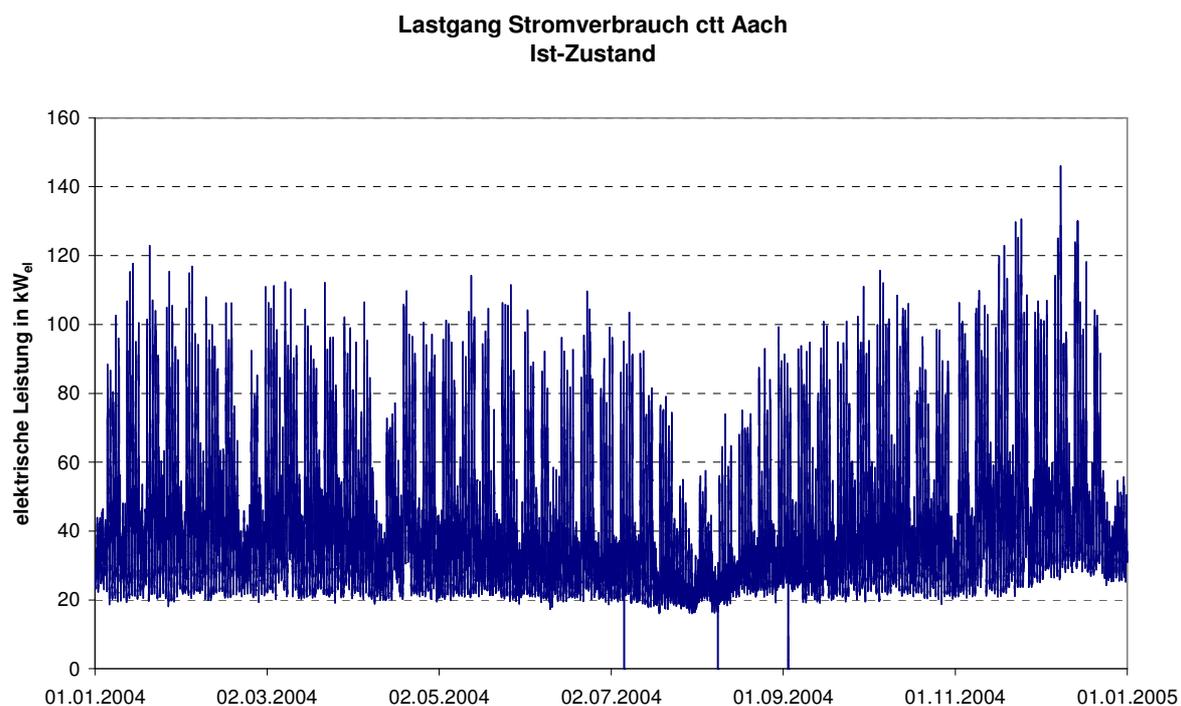


Abbildung 1-2 Jahresstromlastgang des Jugendhilfezentrums 2004

¹ Transferstelle Bingen: Energiekonzept zum Einsatz erneuerbarer Energien „Haus auf dem Wehrborn“, Bingen, 10.02.2005

**Jahresdauerlinie elektrische Leistung Stromverbrauch ctt Aach
Ist-Zustand**

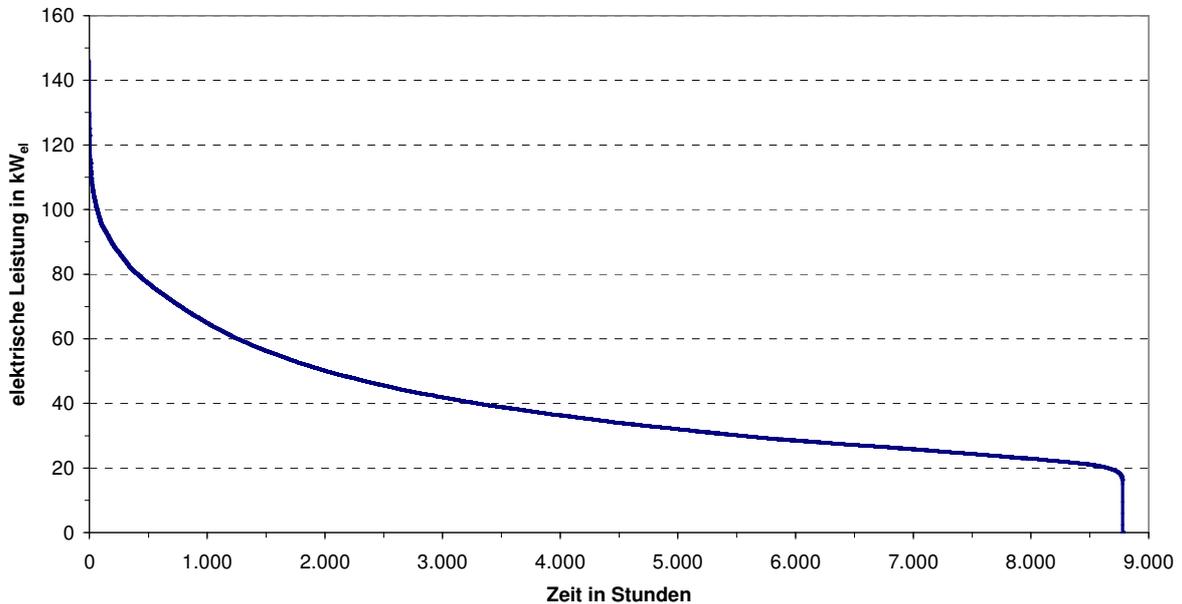


Abbildung 1-3 geordnete Jahresdauerlinie des Stromverbrauch 2004 im Jugendhilfezentrum

Das Diagramm zeigt anschaulich, dass ganzjährig eine elektrische Grundlast mit rund 20 kW_{eI} vorliegt.

Der Stromverbrauch des Jugendhilfezentrums ist durch folgende Daten gekennzeichnet.

Stromverbrauch 2004	353 MWh _{eI} /a
mittlere 15-Minuten-Leistung	ca. 40 kW _{eI}
maximale 15-Minuten-Leistung	ca. 146 kW _{eI}
minimaler Tagesstromverbrauch	479 kWh _{eI} /a
mittlerer Tagesstromverbrauch	965 kWh _{eI} /a
maximaler Tagesstromverbrauch	1.447 kWh _{eI} /a

Tabelle 1-1 Kenndaten Stromverbrauch Jugendhilfezentrum Ist-Zustand

1.2 Abgeschätzter Stromverbrauch nach Erweiterung

Mit dem Jahresstromlastgang für 2004 und dem abgeschätzten Jahresstromlastgang für die Erweiterung der Schreinerei und Wäscherei unter Berücksichtigung von Schulferien und Tagesbetriebszeiten wurde ein Jahresstromlastgang für die Erweiterung generiert.

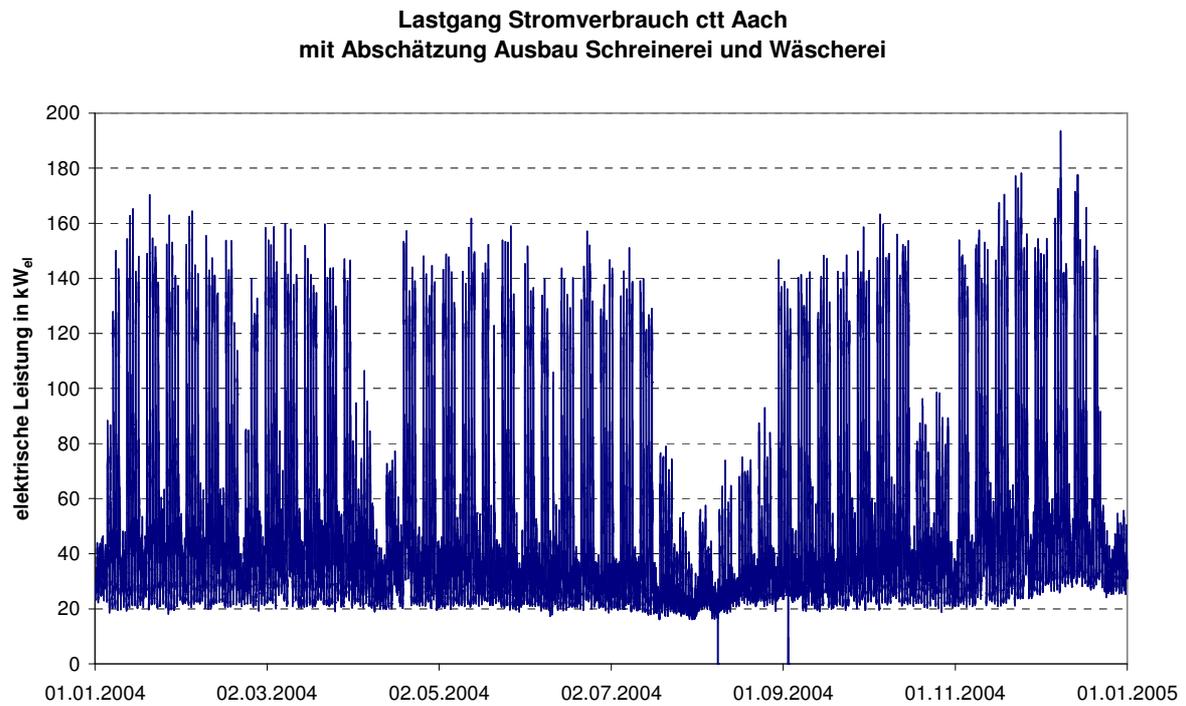


Abbildung 1-4 Abgeschätzter Jahresstromlastgang des Jugendhilfezentrums mit Ausbau Schreinerei und Wäscherei

**Jahresdauerlinie elektrische Leistung ctt Aach
Abschätzung Ausbau Schreinerei und Wäscherei**

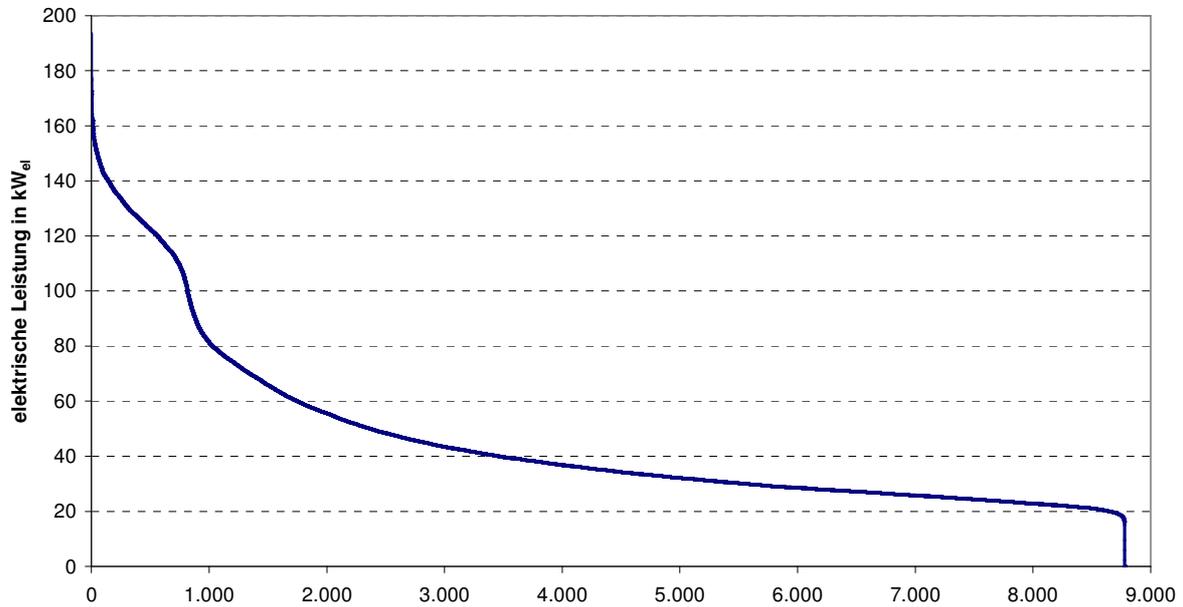


Abbildung 1-5 geordnete Jahresdauerlinie des abgeschätzten Stromverbrauchs im Jugendhilfezentrum mit Ausbau Schreinerei und Wäscherei

Der abgeschätzte Stromverbrauch des Jugendhilfezentrums mit Ausbau der Schreinerei und Wäscherei ist durch folgende Daten gekennzeichnet.

Stromverbrauch	408 MWh _{el} /a
mittlere 15-Minuten-Leistung	ca. 46 kW _{el}
maximale 15-Minuten-Leistung	ca. 194 kW _{el}
minimaler Tagesstromverbrauch	479 kWh _{el} /a
mittlerer Tagesstromverbrauch	1.114 kWh _{el} /a
maximaler Tagesstromverbrauch	1.729 kWh _{el} /a

Tabelle 1-2 Kenndaten abgeschätzter Stromverbrauch Jugendhilfezentrum mit Ausbau Schreinerei und Wäscherei

2 Vorstellung der Technik zur Regenerativstromversorgung

Für die Stromerzeugung werden vorrangig Windkraft und Fotovoltaik herangezogen, da deren Potential nicht limitiert ist. Sie ermöglichen durch Wegfall von Brennstoffeinkauf beachtliche regionale Wertschöpfung. Zusätzlich ist Wind- und Solarstrom vollständig emissionsfrei, d. h. es gibt keine Schad- und keine Klimagasemissionen.

Für den Lastgang von Wind- und Solarkraft liegen leider keine direkten Daten für Aach bei Trier vor. Von daher werden für die Windkraft hilfsweise die Lastgänge von zwei Windparks in Rheinhessen, für die Solarkraft der Lastgang einer Fotovoltaikanlage am Standort Trier nach einem Simulationsprogramm unterstellt.

Als weitere Anlage wird ein Pflanzenöl-BHKW zu Grunde gelegt.

2.1 Windkraftanlage

Für die Windkraftanlage wird eine Nennleistung von 250 kW_{el} angenommen. Mit Hilfe eines Stromlastgangs von 2004 für einen Windpark aus acht Windkraftanlagen mit jeweils $1,5 \text{ MW}_{el}$ Nennleistung in Rheinhessen wird die mögliche Stromerzeugung für eine solche Windkraftanlage abgeschätzt. Deren Nabenhöhe beträgt 65 m ($70,5 \text{ m}$ Rotordurchmesser).

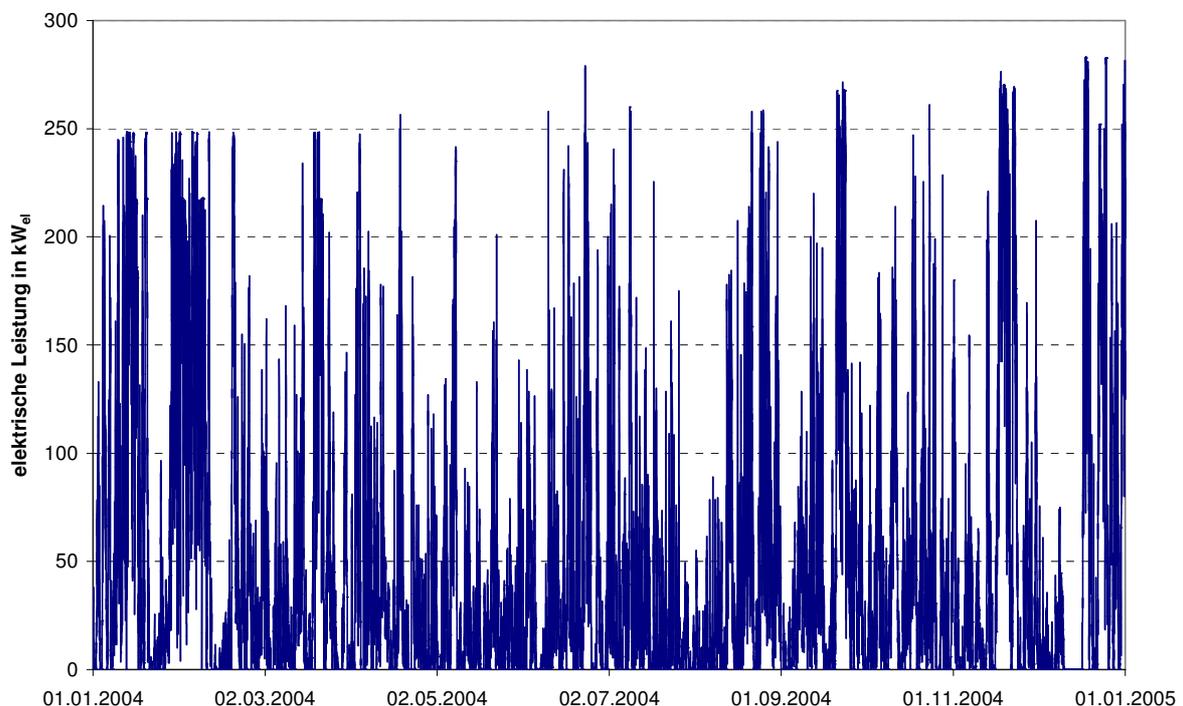


Tabelle 2-1 Beispielhafter Lastgang einer 250 kW Windkraftanlage

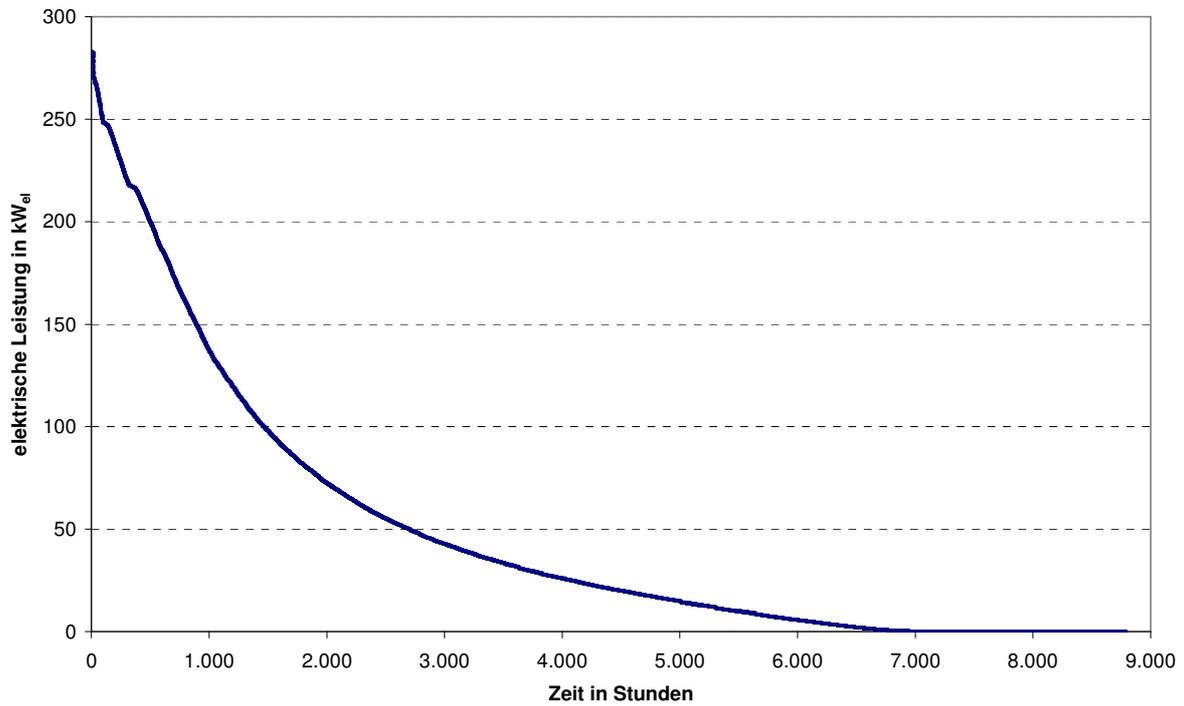


Abbildung 2-1 Jahresdauerlinie Leistung Windkraft

Aus dem Lastgangverlauf ergeben sich folgende Kenndaten

Stromerzeugung	422 MWh _{el} /a
maximale 15-Minuten-Leistung	ca. 283 kW _{el}

Tabelle 2-2 Kenndaten Stromerzeugung Windkraft 250 kW

Eine größere und leistungsstärkere Windenergieanlage ist für das Jugendhilfezentrum aufgrund des vergleichsweise niedrigen Strombedarfs nicht erforderlich.

Allerdings schreitet die Entwicklung von größeren und leistungsstärkeren Windenergieanlagen weiter voran. Diese Studie greift auf gemessene Daten von bestehenden Anlagen der 1,5 MW_{el}-Klasse mit 100 m Nabhöhe zurück. Die modernsten Anlagen mit 2,5 – 4,5 MW_{el} und Nabenhöhen zwischen 100 – 140 m weisen höhere Erträge aus.

Eine Auswahl zeigt die Brutto-Erträge, die spezifisch um etwa 10 bis 15 % über dem Ertrag der existierenden Anlagen liegen.

Bezeichnung	Nabhöhe	Brutto-Ertrag ¹
Vestas V90 3MW	105 m	6.390 MWh _{el} /a
Fuhrländer FL2500	100 m	7.055 MWh _{el} /a
Fuhrländer FL2500	140 m	8.180 MWh _{el} /a
Enercon E112	124 m	11.160 MWh _{el} /a

Der Standort der Windkraftanlage beeinflusst ebenfalls den Ertrag. So kann der Unterschied zwischen einer optimalen Windkraftanlage und einer nicht optimierten Windkraftanlage bis zu 25 % betragen.

¹ Simulationsrechnung für die Pfalz der JuWi GmbH

2.2 Fotovoltaikanlage

In der Studie¹ zu einem Energiekonzept für das Jugendhilfezentrum in Aach wurde die umsetzbare Modulfläche für Fotovoltaikanlagen ermittelt. Auf einer rund 1.000 m² großen Dachfläche, die nach Südsüdwest ausgerichtet und um 41° geneigt ist, können Anlagen mit insgesamt 110 kW_{el} elektrischer Leistung installiert werden.

Ein Jahreslastgang wird mit einem Simulationsprogramm für den Standort Trier generiert. Da das Simulationsprogramm nur Stundenwerte ausgibt, werden die dazwischen liegenden 15-Minutenwerte interpoliert.

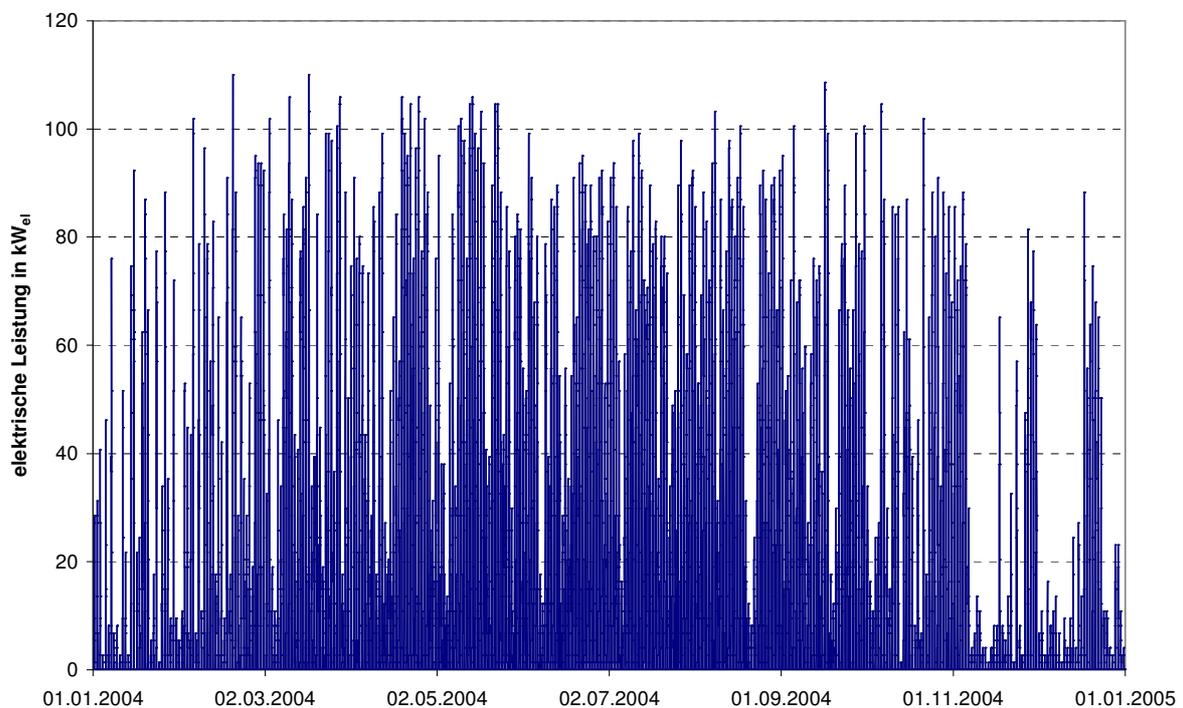


Abbildung 2-2 Beispielhafter Lastgang Fotovoltaik mit 110 kW Nennleistung auf geeignete Dachflächen

¹ Transferstelle Bingen: Energiekonzept zum Einsatz erneuerbarer Energien „Haus auf dem Wehborn“, 21.03.2005

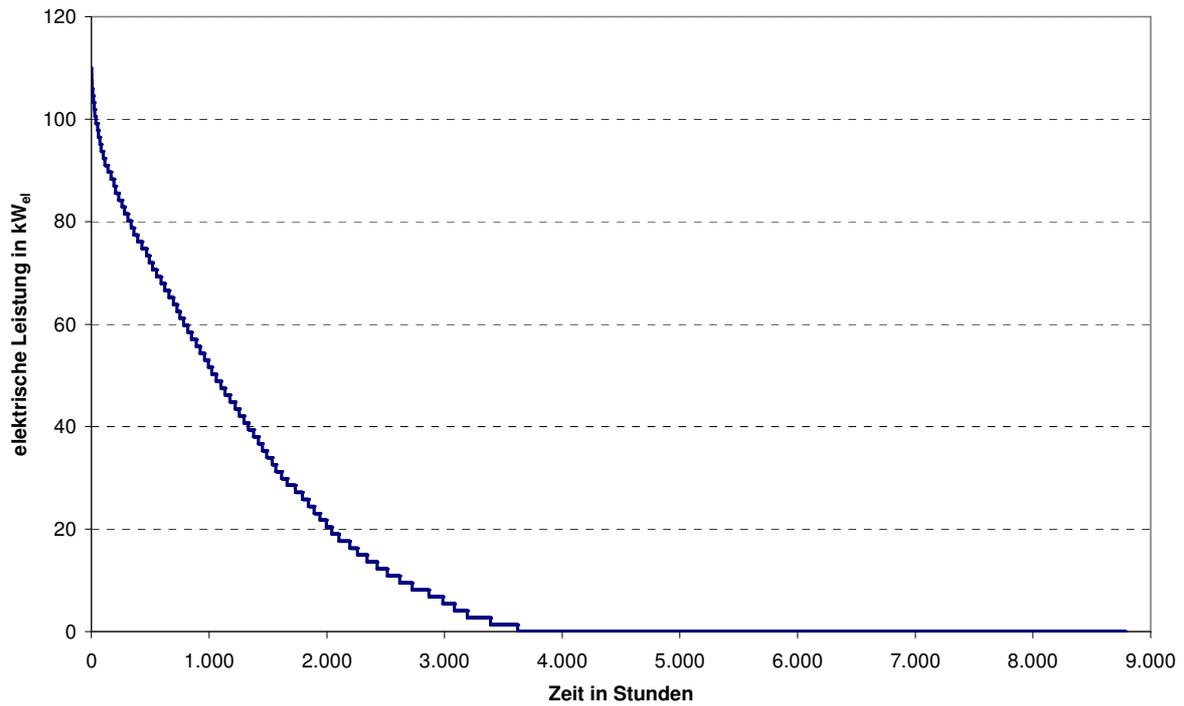


Abbildung 2-3 Jahresdauerlinie Leistung Fotovoltaik

Aus dem Lastgangverlauf ergeben sich folgende Kenndaten

Stromerzeugung	123 MWh _{el} /a
maximale 15-Minuten-Leistung	ca. 110 kW _{el}

Abbildung 2-4 Kenndaten Stromerzeugung Fotovoltaik 110 kW

2.3 Vergleich der Lastgänge zum Stromverbrauch und zur Stromerzeugung

Um beurteilen zu können, welchen Anteil Wind- und Solarstrom an der Abdeckung des Strombedarfs im Jugendhilfezentrum erreichen können, werden zunächst die verschiedenen Lastgänge in einem Diagramm dargestellt.

Dazu werden die Lastgänge zu 250 kW Windkraft und zu 110 kW Fotovoltaik herangezogen.

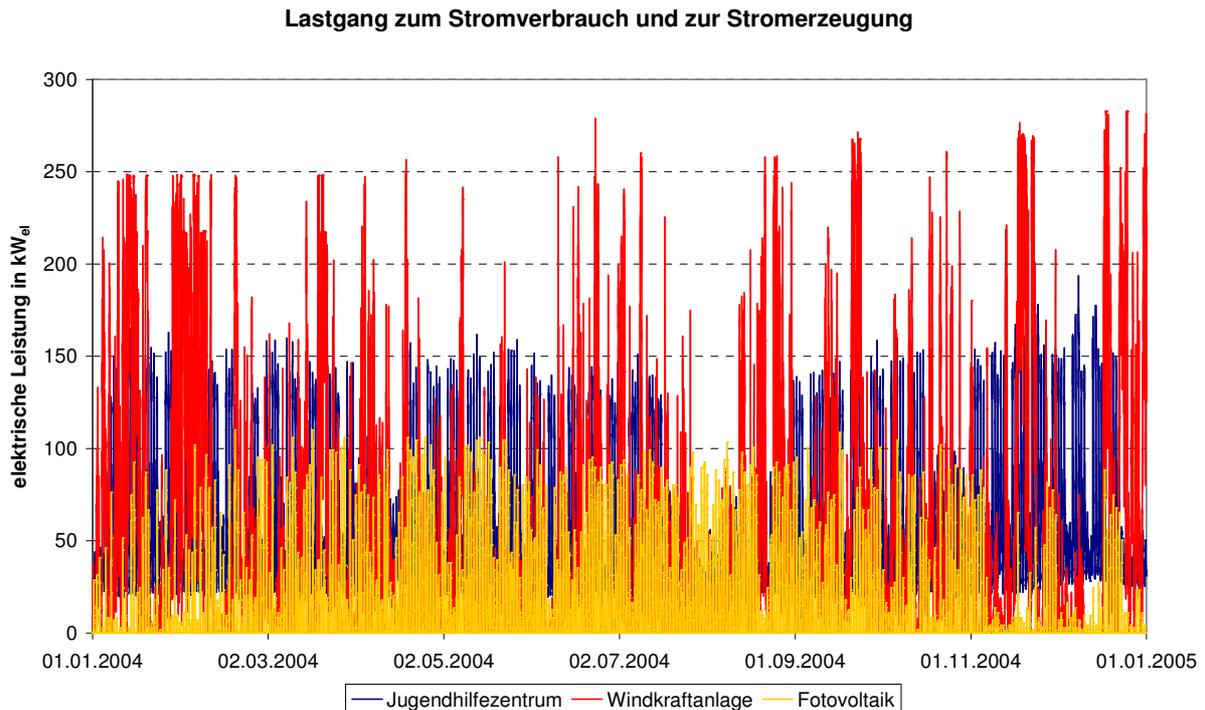


Abbildung 2-5 Lastgangvergleich Strombedarf und regenerative Stromerzeugung bei 250 kW Windkraft und 110 kW Fotovoltaik

Die Stromerzeugung von Windkraft- und Fotovoltaikanlagen gleichen sich oftmals aus, allerdings kann es an einigen Tagen zu starken Leistungseinbrüchen kommen. Dies zeigt beispielhaft der Ausschnitt für den Zeitraum vom 01.01. bis 09.01.2004.

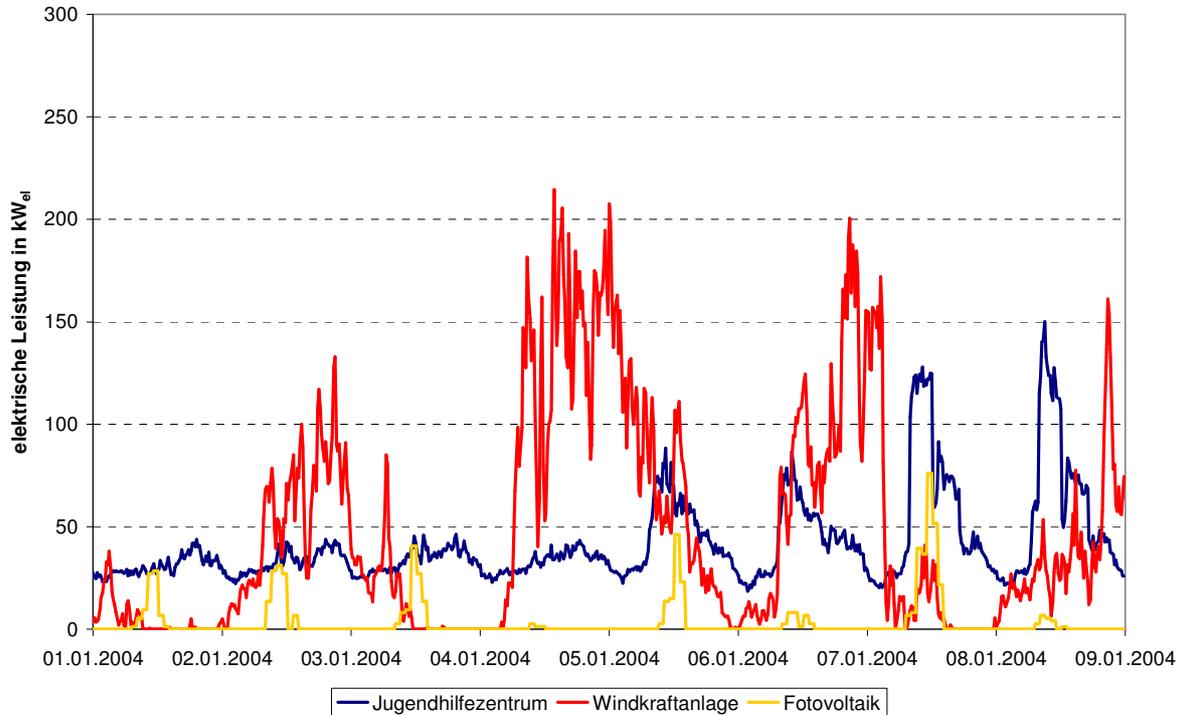


Abbildung 2-6 Ausschnitt aus Lastgangvergleich Strombedarf und regenerative Stromerzeugung bei 250 kW Windkraft und 110 kW Fotovoltaik

Aufgrund der Fluktuation kann die Windkraft und Fotovoltaik den Strombedarf des Jugendhilfezentrums nicht im Lastgang abdecken, sodass der im Lastgang nicht abgedeckte Strombedarf entweder durch Stromzukauf von dem Energieversorger wie bisher oder z. B. durch eine Stromspeicherung mit NaS-Batterien bzw. durch Bioenergie abgedeckt werden muss.

Im folgenden Diagramm ist die Differenz zwischen Stromverbrauch und -erzeugung dargestellt, was als Grundlage für den Ausgleichsenergiebedarf z. B. aus konventioneller Stromlieferung bzw. aus Stromspeicherung ist und die Dimensionierung der NaS-Batterie herangezogen wird.

Differenz Stromverbrauch und -erzeugung

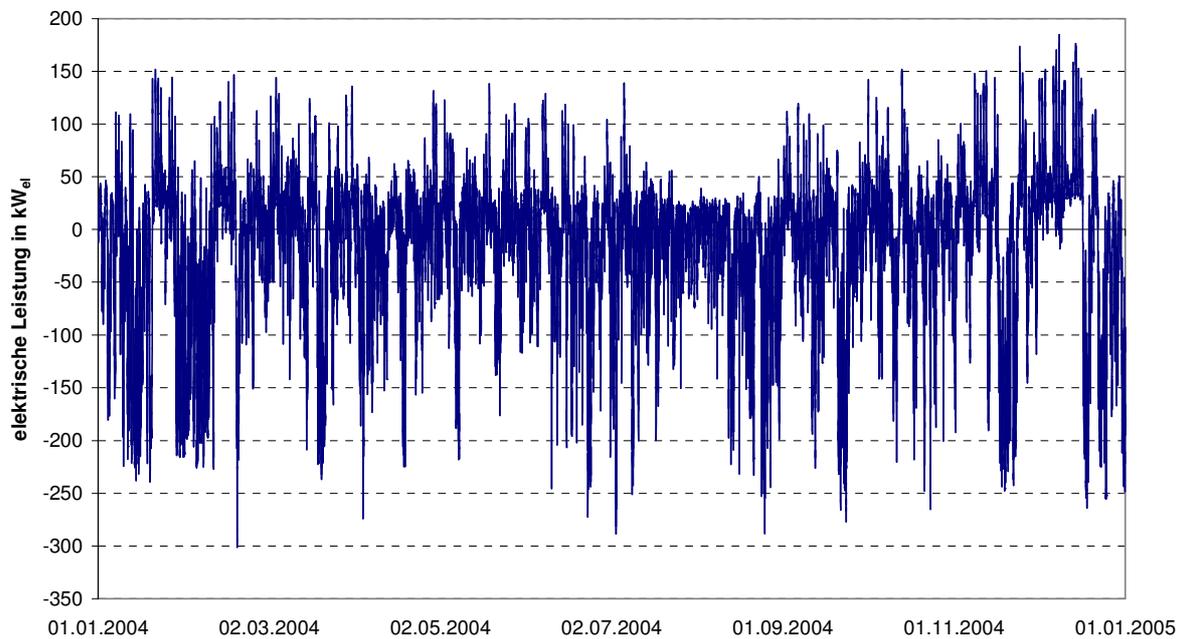


Abbildung 2-7 Differenz Stromverbrauch und –erzeugung
bei 250 kW Windkraft und 110 kW Fotovoltaik

Zwar wird in der Jahressumme mehr Wind- und Solarstrom erzeugt als in dem Jugendhilfzentrum „Haus auf dem Wehrborn“ benötigt wird. Insoweit ist die Einrichtung im Hinblick auf ihren Stromverbrauch im Saldo nicht nur CO₂-, sondern auch emissionsfrei geworden. Allerdings kann durch den unterschiedlichen Lastgang zwischen Erzeugung und Verbrauch nur ein bestimmter Anteil des Wind- und Solarstroms zur Bedarfsdeckung im Jugendhilfzentrum beitragen. Insoweit wird überschüssiger Wind- und Solarstrom auf Basis des EEG in das Netz des vorgelagerten Netzbetreibers eingespeist und die fehlende Ausgleichsenergie vom Netz bezogen.

Um den Deckungsanteil fluktuierender Energiequellen zu maximieren, gilt es, Überschussstrom zu speichern. Beim Einsatz einer NaS-Batterie wird diese mit Überschussstrom aus Windkraft und Fotovoltaik geladen, der nicht im Lastgang verbraucht werden kann. Die Batterieentladung erfolgt zu Zeiten, an denen die Wind- und Solarstromerzeugung nicht für die Abdeckung des Stromverbrauchs ausreicht.

2.4 Elektrochemische Stromspeicherung mit der Natrium-Schwefel-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 β -Aluminium als fester 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.

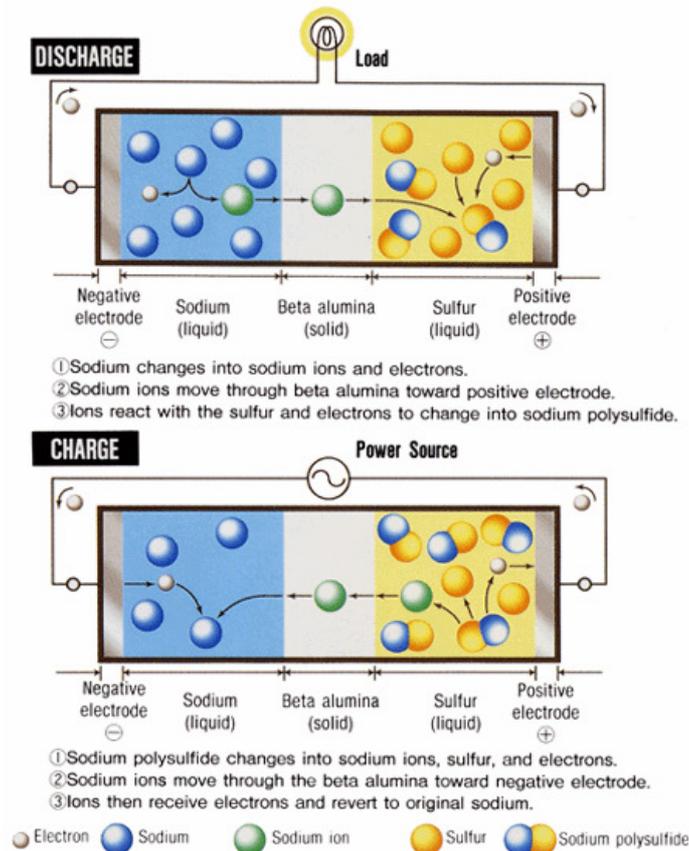


Abbildung 2-8 Funktionsschema einer NaS-Batteriezelle (Quelle: New IERE, Japan)

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.

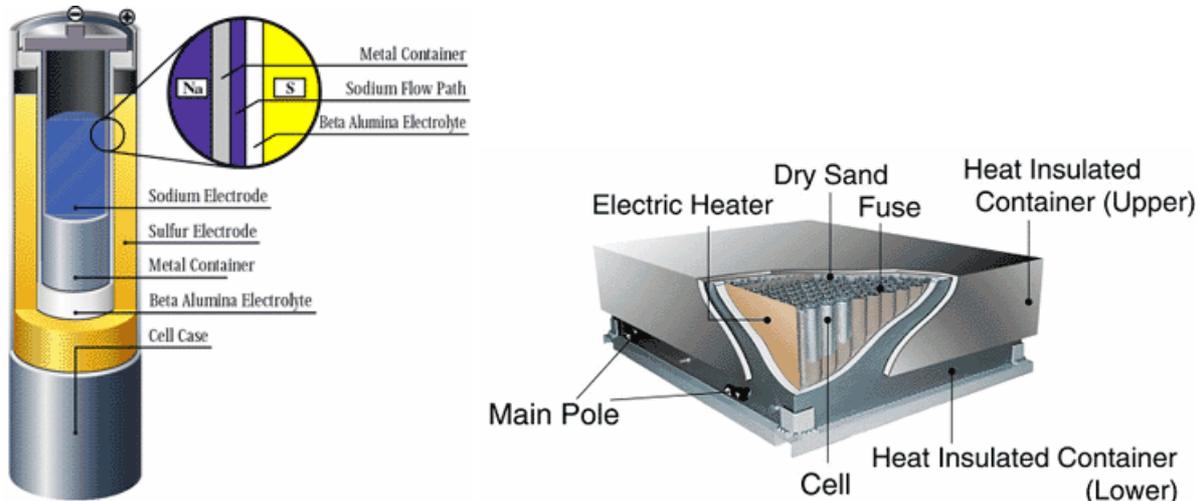


Abbildung 2-9 Schema Zelle und Batteriemodul (Quelle: New IERE, Japan)

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. 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 $8,6 \text{ MWh}_{\text{el}}$. 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.

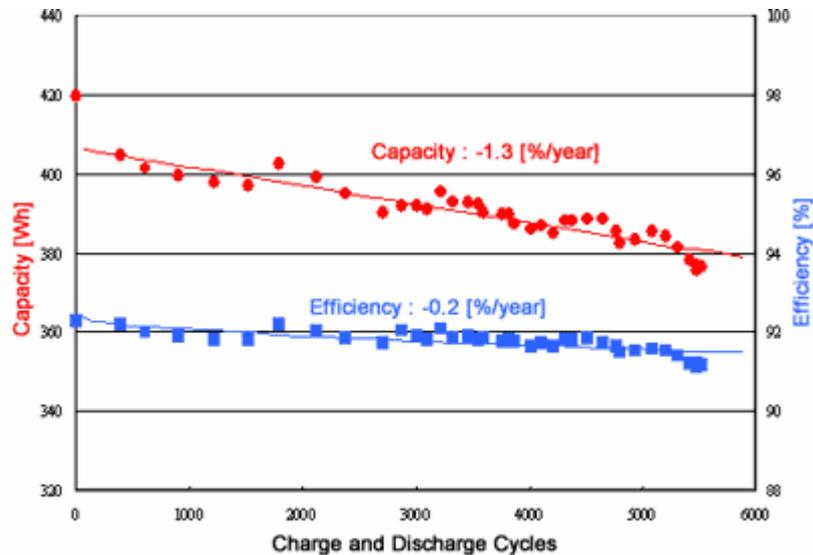


Abbildung 2-10 Kapazität und Wirkungsgrad für NaS-Batterie (Quelle: New IERE, Japan)

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 einer Steuer- und Regeleinheit besteht, ins Stromnetz eingespeist.

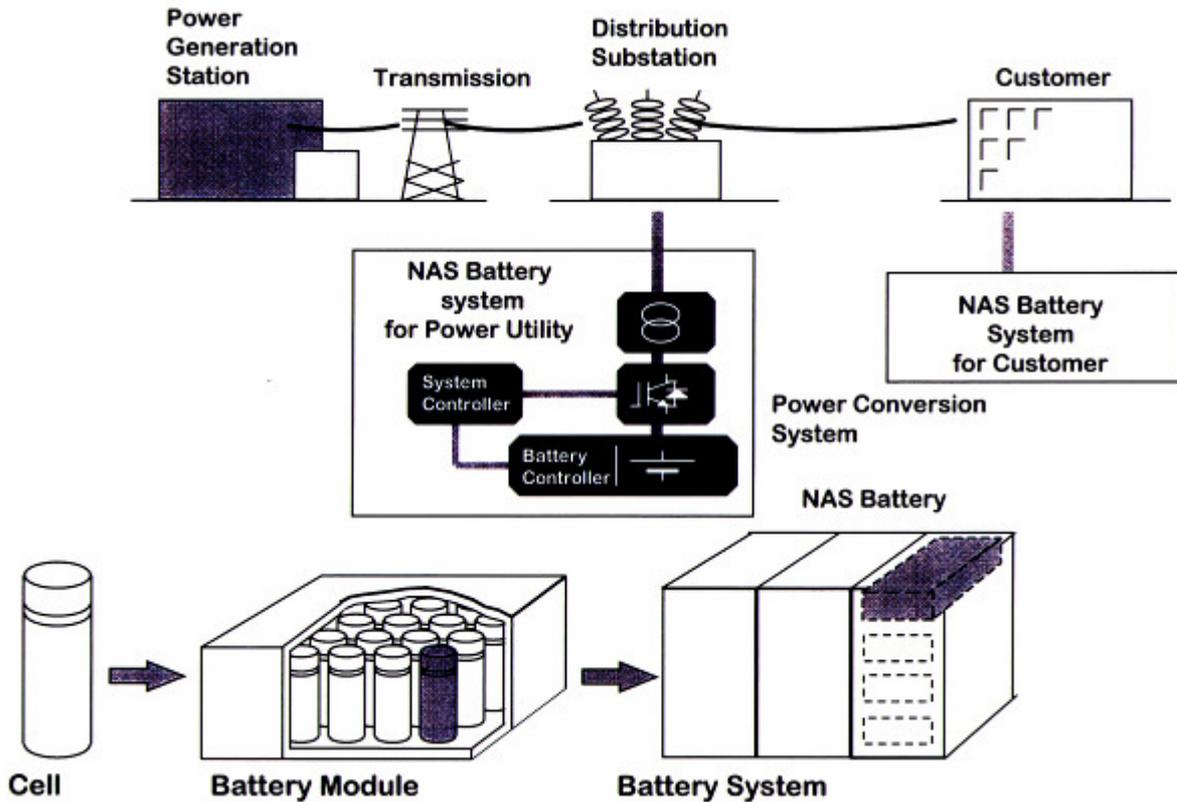


Abbildung 2-11 Schema NaS-Batterie-System (Quelle: NGK Insulators, Ltd.)

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.

Um Schwankungen im Tagesbedarf an Strom auszugleichen, wurde in Japan innerhalb eines Feldtests je 2 MW NaS-Batterie für insgesamt drei Banken installiert. Anstelle des Stromnetzausbaus in japanischen Städten wird diese NaS-Batterie als Strompuffer eingesetzt.



Abbildung 2-12 NaS-Batterien in Ohito Substation zum Ausgleich des Stromtageslastgangs von Banken (Quelle: IERE, Japan)

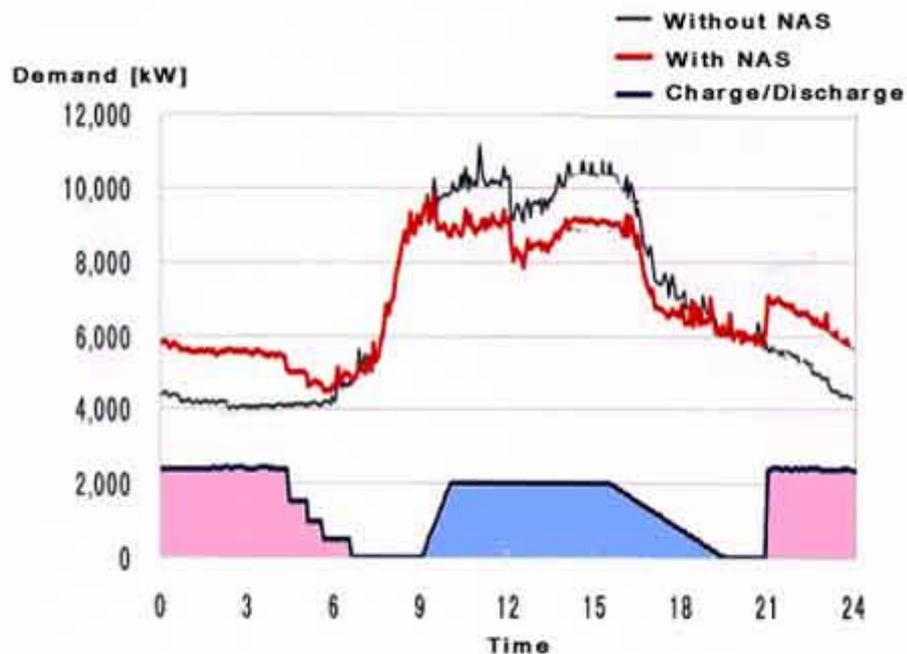


Abbildung 2-13 Tageslastgang NaS-Batterie Ohito Substation (Quelle: IERE, Japan)

NaS-Batterie	
elektrische Leistung	6.315 (3 x 2.105) kW _{el}
Kapazität	50.520 (3 x 16.840) kWh _{el}
Anzahl Batteriezellen	46.080 (3 x 15.360)
Konverter	
elektrische Leistung	6.000 (3 x 2.000) kW _{el}

Tabelle 2-3 Kenndaten NaS-Batterie in Ohito Substation
(Quelle: IERE, Japan)

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

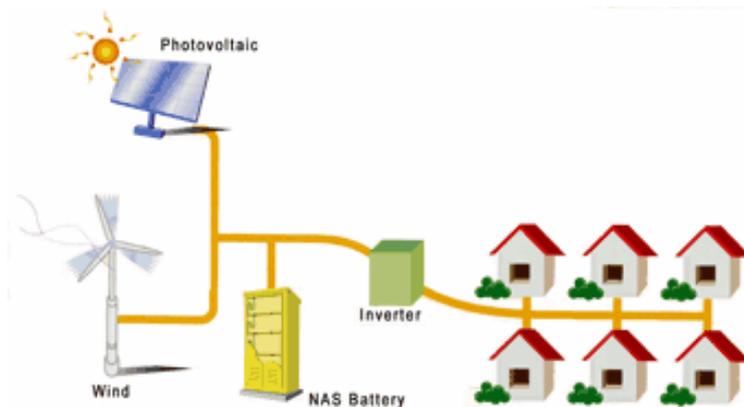


Abbildung 2-14 Schematische Darstellung NaS-Batterie mit regenerativer Stromerzeugung
(Quelle: IERE, Japan)

Am Beispiel von zwei Anlagen, die in Kombination mit einer Windkraftanlage betrieben werden, wird im Folgenden das System kurz vorgestellt.

Seit Dezember 1995 wird eine 300 kW_{el} Windkraftanlage mit einer 50 kW_{el} NaS-Batterie im TEPCO New Energy Park eingesetzt.



Abbildung 2-15 Windkraftanlage und NaS-Batterie im TEPCO New Energy Park
(Quelle: IERE, Japan)

Windkraftanlage	
elektrische Leistung	300 kW _{el}
Höhe	30 m
Durchmesser	29,6 m
Anzahl Rotorblätter	2
nominale Windgeschwindigkeit	13 m/s
NaS-Batterie	
elektrische Leistung	52,6 kW _{el}
Kapazität	421 kWh _{el}
Anzahl Batteriezellen	1.344
Dimension	1,4 m (B)x 2,3 m (T) x 2,7 m (H)
Konverter	
elektrische Leistung	50 kW _{el}

Abbildung 2-16 Kenndaten Windkraftanlage und NaS-Batterie im TEPCO New Energy Park
(Quelle: IERE, Japan)

Die elektrische Einbindung wurde wie in der schematischen Zeichnung dargestellt ausgeführt.

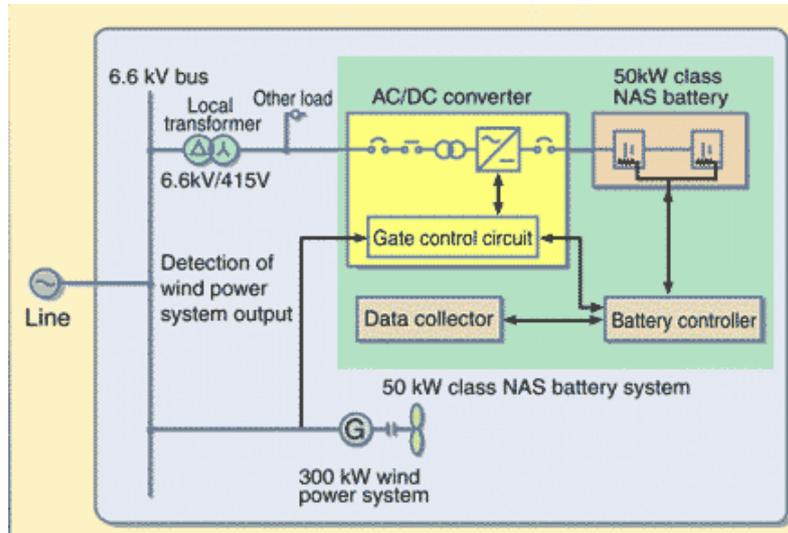


Abbildung 2-17 Schematische Darstellung der elektrischen Einbindung für Windkraftanlage und NaS-Batterie im TEPCO New Energy Park (Quelle: IERE, Japan)

Der Lastgang der Stromerzeugung durch die Windkraftanlage, der NaS-Batterie sowie die Überlagerung der beiden ist in der Abbildung dargestellt.

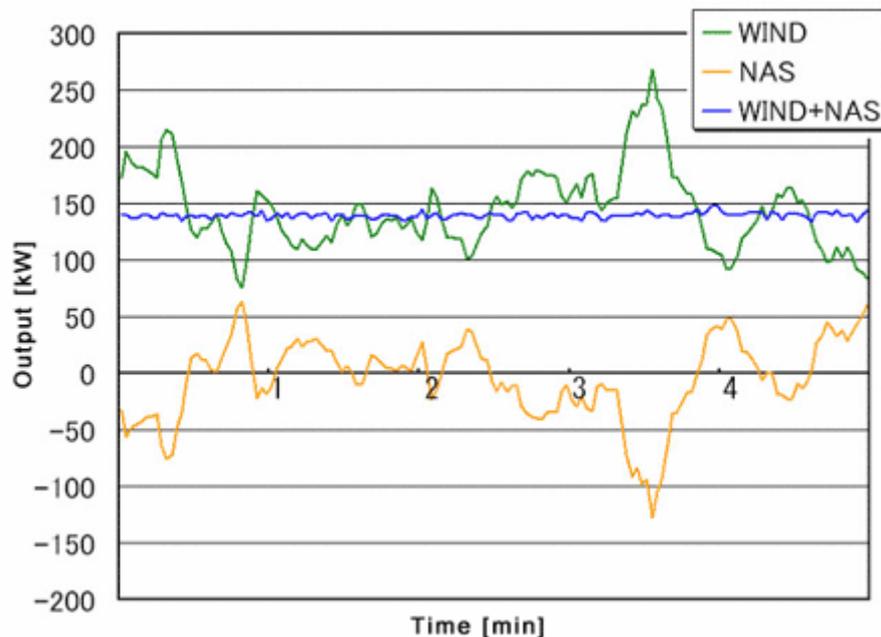


Abbildung 2-18 Lastgang Windkraftanlage und NaS-Batterie (Quelle: IERE, Japan)

Der Lastverlauf mit Windkraftanlage und NaS-Batterie führt dazu, dass sich eine verhältnismäßig konstante, elektrische Leistung mit nur noch einer geringen Schwankung ergibt.

In der Zusammenarbeit mit NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) wurde eine 400 kW_{el} NaS-Batterie für eine 500 kW_{el} Windkraftanlage auf der Insel Hachijo installiert.



Abbildung 2-19 Windkraftanlage und NaS-Batterie auf der Insel Hachijo
(Quelle: IERE, Japan)

Windkraftanlage	
elektrische Leistung	500 kW _{el}
Höhe	44 m
Durchmesser	38,4 m
Anzahl Rotorblätter	23
nominale Windgeschwindigkeit	14 m/s
NaS-Batterie	
elektrische Leistung	400 kW _{el}
Kapazität	3.000 kWh _{el}
Anzahl Batteriezellen	2.560
Konverter	
elektrische Leistung	400 kW _{el}

Tabelle 2-4 Kenndaten Windkraftanlage und NaS-Batterie auf der Insel Hachijo
(Quelle: IERE, Japan)

Die NaS-Batterie wird nachts geladen. Tagsüber gleicht die Batterie die Fluktuation im Lastverlauf der Windkraftanlage durch Entladen aus.

3 Auslegung einer NaS-Batterie

Im Gegensatz zu den japanischen Anlagen ist keine Strombereitstellung mit konstanter, elektrischer Leistung gefordert sondern die lastganggerechte Abdeckung des Strombedarfs im Jugendhilfezentrum durch Regenerativstrom. Es wird vorrangig der Windkraftstrom zur Abdeckung des Strombedarfs herangezogen, da die Windstrom-Gestehungskosten mit 8,36 Ct/kWh erhöhte Anfangsvergütung und 5,28 Ct/kWh Basisvergütung (EEG, Inbetriebnahmejahr 2006) derzeit wesentlich niedriger sind als die des Fotovoltaikstroms mit 51,80 Ct/kWh (dachmontiert, < 30 kW_p) bzw. 40,60 Ct/kWh (Freiflächenanlage).

Die Dimensionierung der NaS-Batterie orientiert sich am verbleibenden Strombedarf, der nicht direkt durch Windkraft und Fotovoltaik gedeckt werden kann.

3.1 NaS-Batterie mit 150 kW_{el}

Es wird eine NaS-Batterie mit 150 kW_{el} betrachtet. Sie bietet eine Kapazität von 1.290 kWh_{el}. Durch eine 80 %ige Ausnutzung der Batteriekapazität bleiben 258 kWh_{el} als Restkapazität bestehen.

Eine solche Batterie wird mit einer 250 kW_{el} Windkraftanlage und einer 110 kW_{el} Fotovoltaikanlage kombiniert.

Um die Größenordnung der Speicherkapazität einer 150 kW_{el} NaS-Batterie zu veranschaulichen, wird diese Speicherkapazität auf den kleinsten, mittleren und größten Tagesstromverbrauch bezogen.

Min. Tagesstromverbrauch: 482 kWh_{el}/d
 Batteriespeicherkapazität: 1.290 kWh_{el} = 268 % des min. Tagesstromverbrauchs

Mittlerer Tagesstromverbrauch: 1.114 kWh_{el}/d
 Batteriespeicherkapazität: 1.290 kWh_{el} = 116 % des mittleren Tagesstromverbrauchs

Max. Tagesstromverbrauch: 1.727 kWh_{el}/d
 Batteriespeicherkapazität: 1.290 kWh_{el} = 75 % des max. Tagesstromverbrauchs

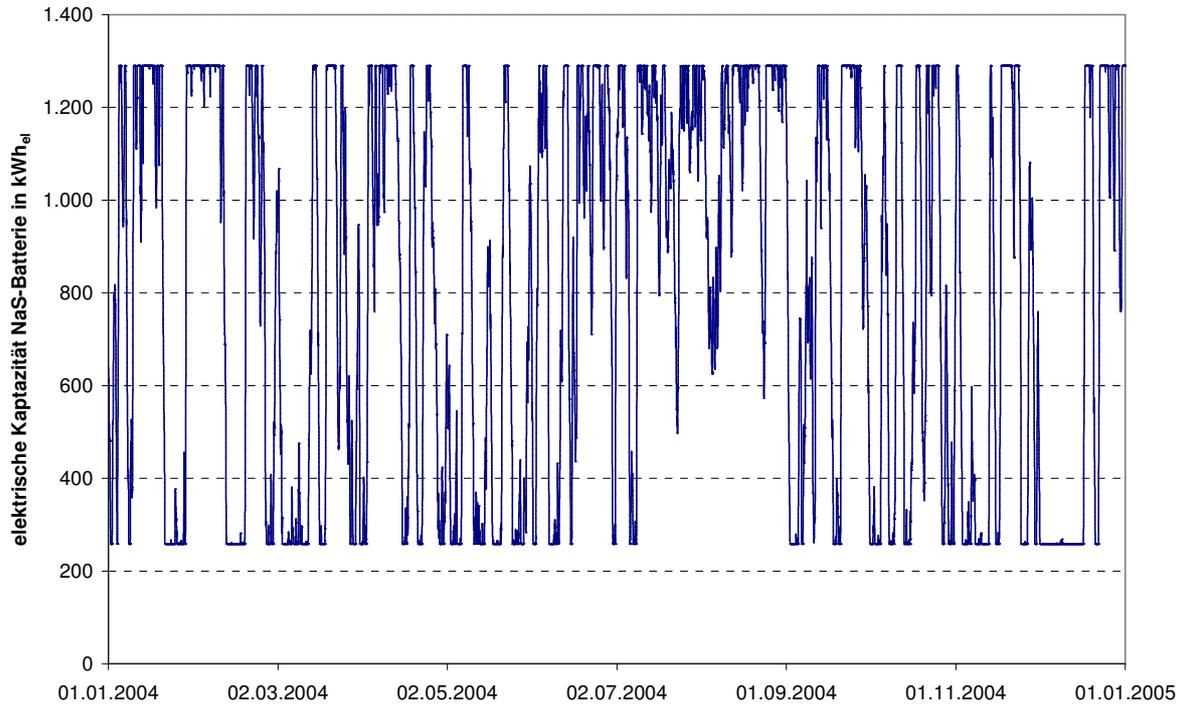


Abbildung 3-1 Jahresverlauf der Batteriespeicherkapazität mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

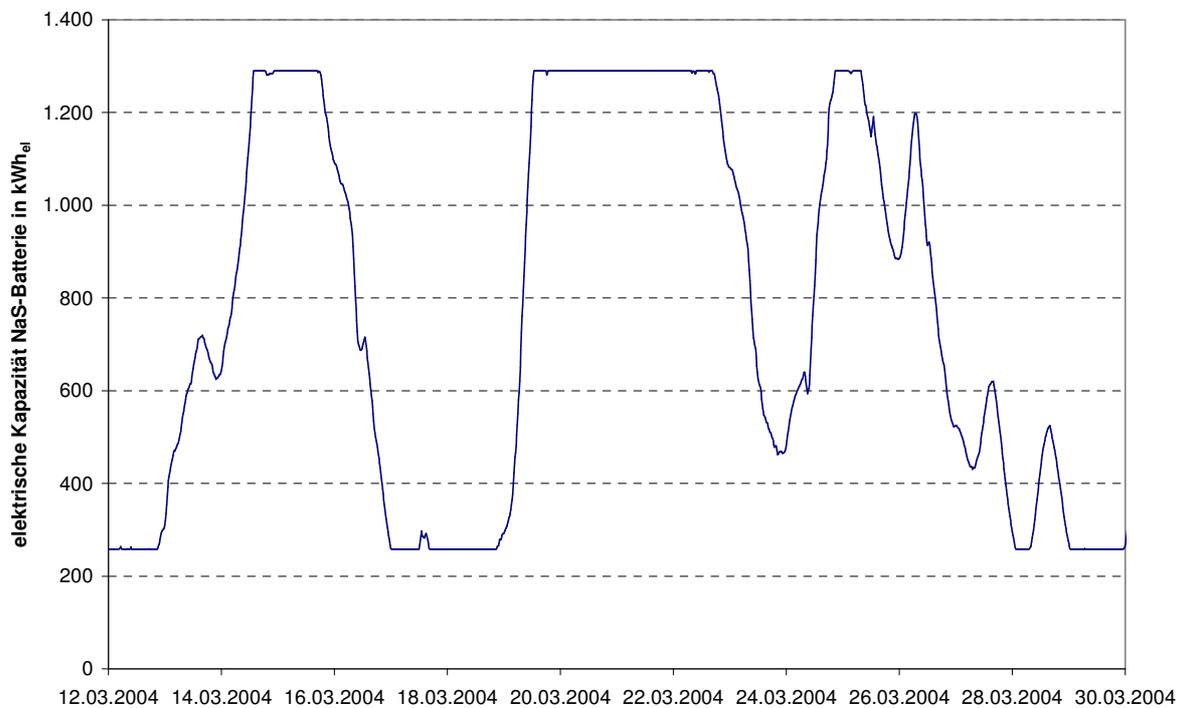


Abbildung 3-2 Ausschnitt der Batterieladung bzw. -entladung aus o.g. Bild

Lastgang Stromüberschuss

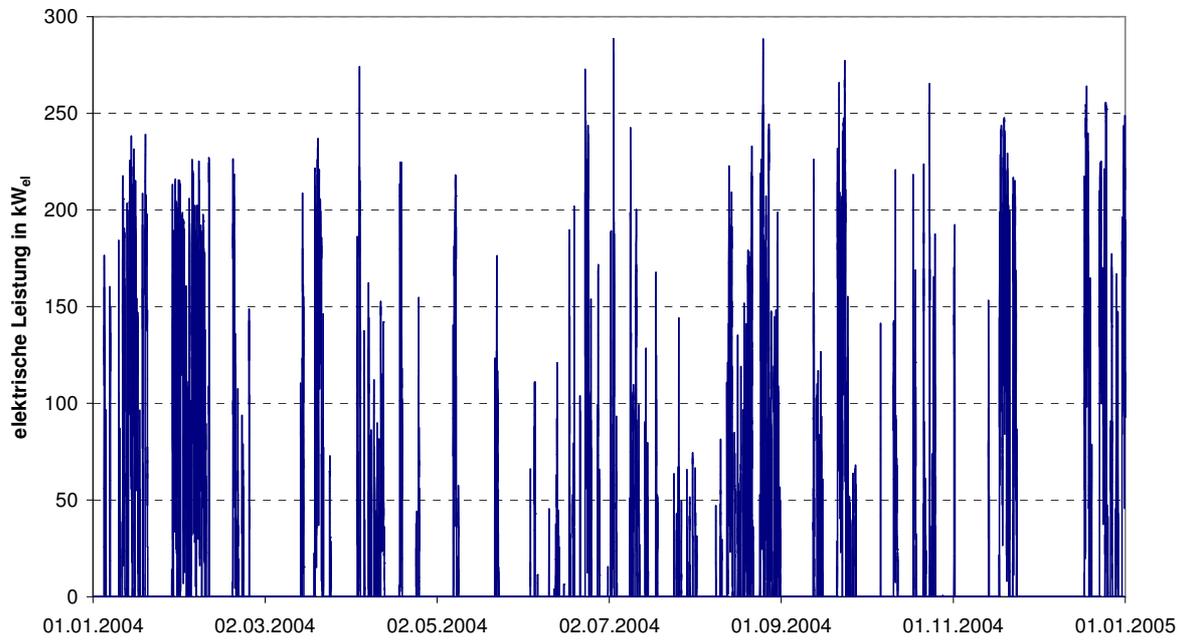


Abbildung 3-3 Jahresverlauf Stromüberschuss
mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

Lastgang Bedarf an Ausgleichsenergie

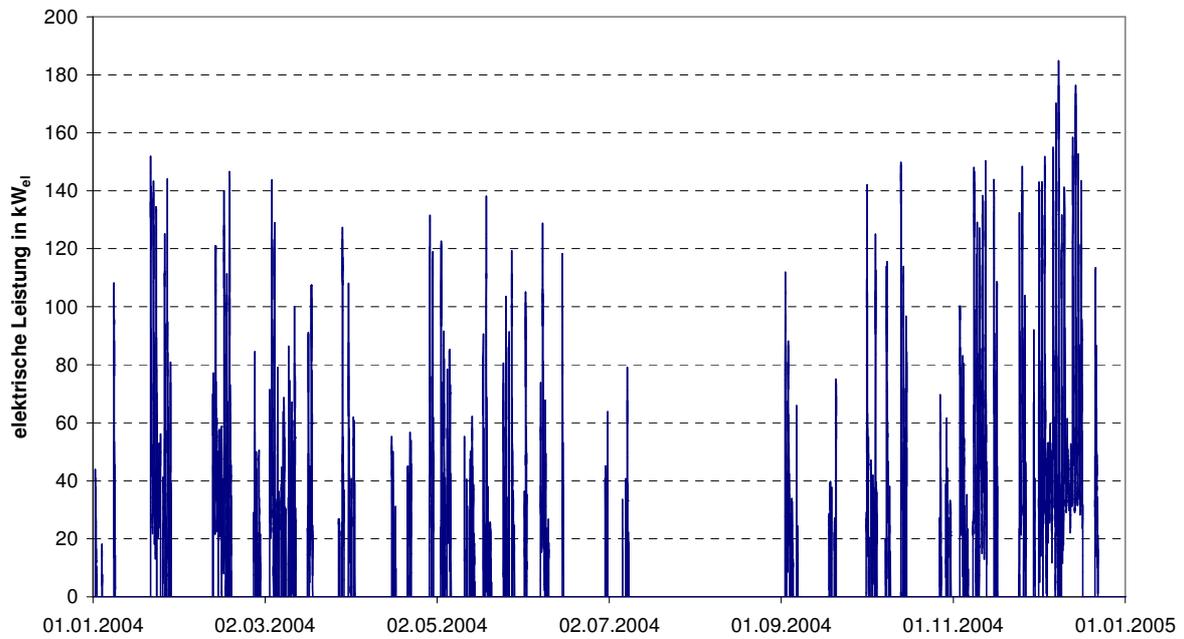


Abbildung 3-4 Jahresverlauf Bedarf an Ausgleichsenergie
mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

Elektrische Leistung Windkraft	250 kW _{el}
Elektrische Leistung Fotovoltaik	110 kW _{el}
Elektrische Leistung NaS-Batterie	150 kW _{el}
Elektrische Speicherkapazität NaS-Batterie	1.290 kWh _{el}
Strombedarf Jugendhilfezentrum	407.797 kWh _{el} /a
Stromerzeugung 250 kW Windkraft	421.769 kWh _{el} /a
Stromerzeugung 110 kW Fotovoltaik	122.900 kWh _{el} /a
Direkter Verbrauch Windstrom	194.924 kWh _{el} /a
Direkter Verbrauch Solarstrom	63.795 kWh _{el} /a
Wind- und Solarstromverbrauch NaS-Batterie laden	68.536 kWh _{el} /a
Wind- und Solarstromverbrauch NaS-Batterie Hilfsstrom	22.845 kWh _{el} /a
Strombereitstellung NaS-Batterie	67.891 kWh _{el} /a
Einspeisung Überschusswindstrom vorgelagertes Netz	165.874 kWh _{el} /a
Einspeisung Überschuss solarstrom vorgelagertes Netz	28.694 kWh _{el} /a
Bedarf an Ausgleichsenergie z. B. Bioenergie oder Netzstrombezug	81.187 kWh _{el} /a

Tabelle 3-1 Stromerzeugung und –bedarfsabdeckung
mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

Mit der Kombination aus einer 250 kW_{el} Windkraftanlage, 110 kW_{el} Fotovoltaikanlage und einer 150 kW_{el} NaS-Batterie werden ohne NaS-Batterie rund 258.719 kWh_{el}/a (63 %) des Strombedarfs im Jugendhilfezentrum abdeckt. Mit einer 150 kW-NaS-Batterie wird eine Abdeckung von ca. 80 % erreicht.

Der Überschussstrom zur Netzeinspeisung mit 194.568 kWh_{el}/a setzt sich zu 85 % aus Windstrom und zu 15 % aus Solarstrom zusammen.

Die monatliche Bilanzierung der Stromabdeckung ist unten aufgeführt.

		Jahr	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Strombedarf Jugendhilfezentrum	MWh _{el} /a	408	37	35	40	32	34	32	28	24	35	34	40	38
Stromerzeugung 250 kW Windkraft	MWh _{el} /a	422	57	51	34	27	19	26	24	33	38	30	43	40
Stromerzeugung 110 kW Fotovoltaik	MWh _{el} /a	123	4	7	11	13	16	15	16	15	11	8	4	3
Direkter Verbrauch Windstrom	MWh _{el} /a	195	22	20	18	15	12	14	14	15	18	16	18	13
Direkter Verbrauch Solarstrom	MWh _{el} /a	64	2	3	6	7	9	8	7	6	7	4	3	1
Wind- und Solarstromverbrauch NaS-Batterie laden	MWh _{el} /a	69	6	4	6	6	6	7	7	4	6	7	5	4
Wind- und Solarstromverbrauch NaS-Batterie Hilfsstrom	MWh _{el} /a	23	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1
Strombereitstellung NaS-Batterie	MWh _{el} /a	68	6	4	6	6	6	8	6	4	7	7	6	3
Einspeisung Überschusswindstrom vorgelagertes Netz	MWh _{el} /a	166	27	28	11	6	4	7	5	16	14	7	18	23
Einspeisung Überschusssolarstrom vorgelagertes Netz	MWh _{el} /a	29	2	2	1	3	2	3	4	6	2	1	1	1
Bedarf an Ausgleichsenergie z. B. Bioenergie oder Netzstrombezug	MWh _{el} /a	81	7	7	9	3	7	3	1	0	3	7	13	21
Anteil nutzbarer, regenerativer Strom ohne NaS-Batterie	%	63	65	67	61	70	63	67	75	82	72	61	53	37
Anteil nutzbarer, regenerativer Strom mit NaS-Batterie	%	80	80	79	77	89	80	90	98	100	92	81	68	44

Tabelle 3-2 Monatliche Stromerzeugung und -bedarfsabdeckung mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

3.2 NaS-Batterie mit 3.600 kW_{el}

Damit kein konventioneller Stromnetzbezug erforderlich ist, wäre mit 250 kW_{el} Windkraftanlage und 110 kW_{el} Fotovoltaikanlage eine NaS-Batterie-Anlage mit einer Kapazität von mindestens 30.960 kWh_{el} und einer elektrischen Leistung von 3.600 kW_{el} in Verbindung mit 250 kW_{el} Windkraftanlage und 110 kW_{el} Fotovoltaikanlage einzusetzen. Bis zu einer Restkapazität von 6.192 kWh_{el} könnte eine solche Batterie-Anlage entladen werden.

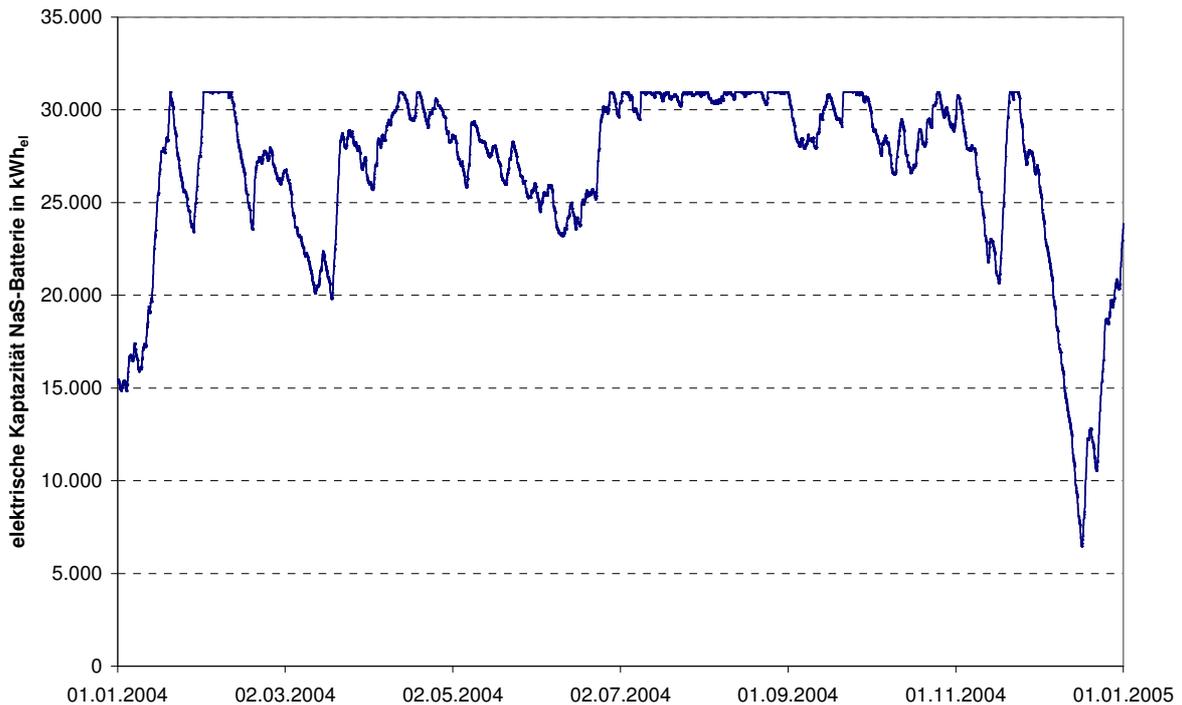


Abbildung 3-5 Jahresverlauf der Batteriespeicherkapazität mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 3.600 kW NaS-Batterie

Lastgang Stromüberschuss

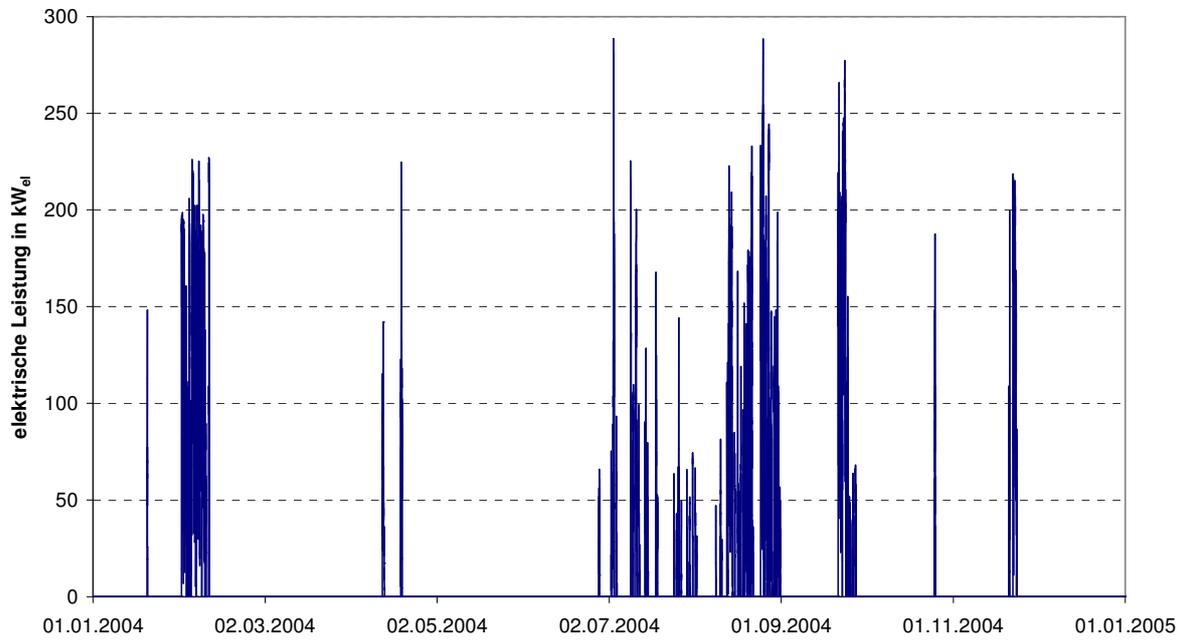


Abbildung 3-6 Jahresverlauf Stromüberschuss
mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 3.600 kW NaS-Batterie

Elektrische Leistung Windkraft	250 kW _{el}
Elektrische Leistung Fotovoltaik	110 kW _{el}
Elektrische Leistung NaS-Batterie	3.600 kW _{el}
Elektrische Speicherkapazität NaS-Batterie	30.960 kWh _{el}
Strombedarf Jugendhilfezentrum	407.797 kWh _{el} /a
Stromerzeugung 250 kW Windkraft	421.769 kWh _{el} /a
Stromerzeugung 110 kW Fotovoltaik	122.900 kWh _{el} /a
Direkter Verbrauch Windstrom	194.924 kWh _{el} /a
Direkter Verbrauch Solarstrom	63.795 kWh _{el} /a
Wind- und Solarstromverbrauch NaS-Batterie laden	157.455 kWh _{el} /a
Wind- und Solarstromverbrauch NaS-Batterie Hilfsstrom	52.485 kWh _{el} /a
Strombereitstellung NaS-Batterie	149.078 kWh _{el} /a
Einspeisung Überschusswindstrom vorgelagertes Netz	61.310 kWh _{el} /a
Einspeisung Überschuss solarstrom vorgelagertes Netz	14.693 kWh _{el} /a
Bedarf an Ausgleichsenergie z. B. Bioenergie oder Netzstrombezug	0 kWh _{el} /a

Tabelle 3-3 Stromerzeugung und -bedarfsabdeckung
mit 250 kW Windkraftanlage, 250 kW Fotovoltaikanlage und 3.600 kW NaS-Batterie

Auf Grund des fluktuierenden Charakters von Wind- und Solarstrom kann der Fall auftreten, dass im ungünstigsten Fall kein Wind- oder Solarstrom erzeugt wird und gleichzeitig eine Lastspitze beim Strombedarf vorliegt. Dies kann auch über einen längeren Zeitraum herrschen, sodass, wie untersucht, der Strombedarf entweder über Ausgleichsenergie wie z. B. Bioenergie, über Netzstrombezug oder über eine Batterie abgedeckt werden muss.

Da die Speicherkapazität einer Batterie begrenzt ist, kann nur diese elektrische Arbeit zur Verfügung gestellt werden.

So zeigt das erste Berechnungsbeispiel mit einer 150 kW_{el} NaS-Batterie (1.290 kWh_{el}), dass die Speicherkapazität für den Strombedarf und die Anlagenkonfiguration nicht ausreicht und insoweit Ausgleichsenergie z. B. auf Basis von Bioenergie oder Strom aus dem öffentlichen Netz zur Abdeckung herangezogen werden muss.

Um den Strombedarf vollständig mit Regenerativstrom abdecken zu können, wäre theoretisch eine NaS-Batterie-Anlage mit 3.600 kW_{el} und 30.960 kWh_{el} erforderlich. Eine solche überdimensionierte Batterieauslegung wäre jedoch wirtschaftlich nicht sinnvoll, da über Bioenergie die notwendige Ausgleichsenergie auf Grund des geringen Restbedarfes (ca. 20 % des Jahresstromverbrauchs) wesentlich kostengünstiger und sinnvoller bereitgestellt werden kann.

4 Versorgungslücke bei Stromerzeugung mit Wind, Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

Anhand des zur Verfügung gestellten Lastgangs wurde belegt, dass mit 250 kW Windkraft und 110 kW Fotovoltaik in Verbindung mit einer 150 kW NaS-Batterie der Jahresstrombedarf im Jugendhilfezentrum zu 80 % abgedeckt werden kann.

Der Jahresverlauf des hierdurch nicht abgedeckten Strombedarfs in einer Größenordnung von nur 20% ist im Diagramm dargestellt.

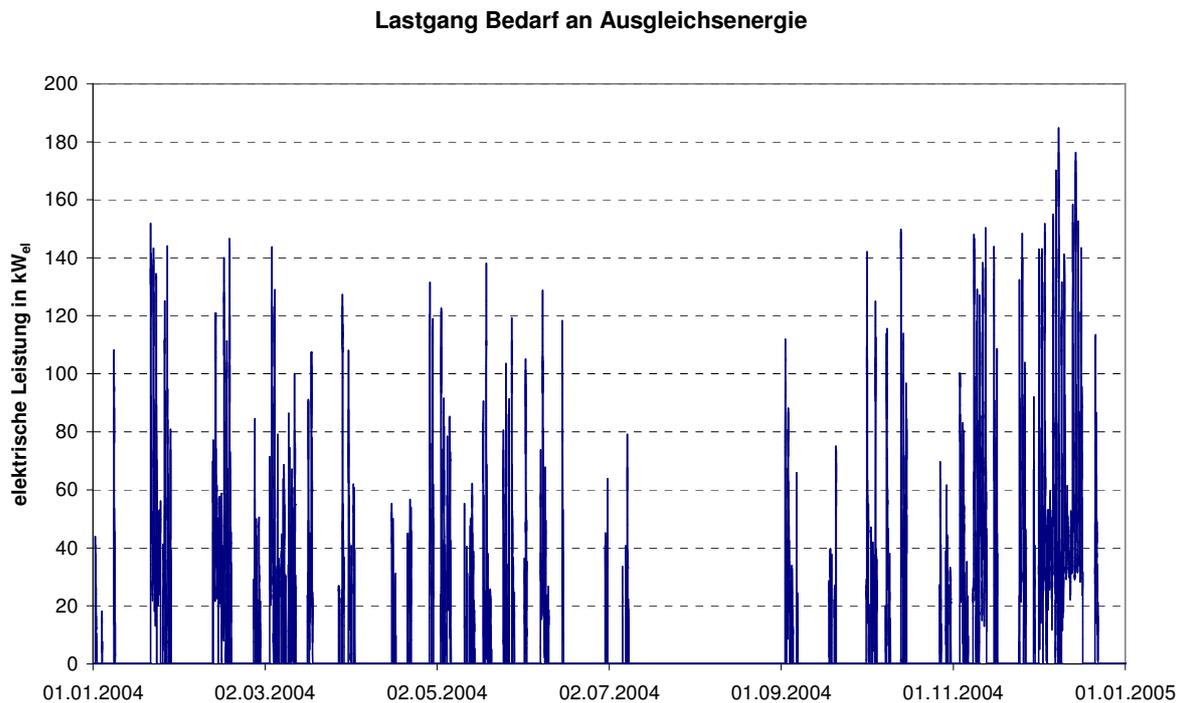


Abbildung 4-1 Jahresverlauf Bedarf an Ausgleichsenergie
mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

Der fehlende Strombedarf im Jugendhilfezentrum beträgt 81.187 kWh_{el}/a. Das Diagramm zeigt, dass starke Schwankungen im noch abzudeckenden Strombedarf vorliegen.

Der erforderliche Leistungsbedarf schwankt zwischen 0 und 185 kW_{el}.

Eine Häufigkeitsverteilung der elektrischen Leistung zur Abdeckung des fehlenden, nicht durch 250 kW Windkraftanlage und 110 kW Fotovoltaikanlage und 150 kW NaS-Batterie abgedeckten Strombedarfs im Jugendhilfezentrum ist in dem Diagramm abgebildet.

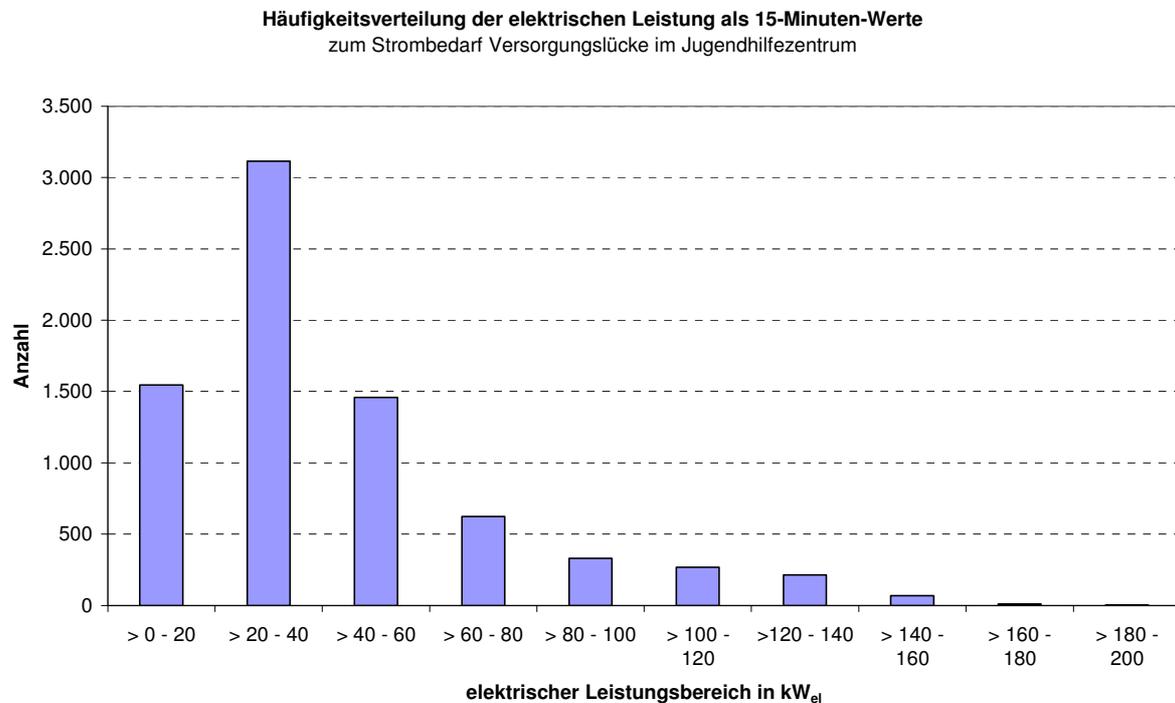


Abbildung 4-2 Häufigkeitsverteilung der elektrischen Leistung als 15-Minuten-Werte zur fehlenden, nicht durch 250 kW Windkraftanlage, 110 kW Fotovoltaikanlage und 150 kW NaS-Batterie abgedeckten Jahresstrombedarfs im Jugendhilfezentrum

Die Häufigkeitsverteilung zeigt, dass in der Klasse mit einem Leistungsbereich von über 20 kW_{el} bis 40 kW_{el} die meisten Werte liegen.

Um den gesamten Reststrombedarf abdecken zu können, wäre eine elektrische Gesamtleistung von rund 185 kW_{el} erforderlich.

In der Tabelle ist dieser Strombedarf monatlich aufgeführt.

	Strombedarf Jugendhilfezentrum kWh _e /Monat	Durch Wind / PV / NaS abgedeckter Strom kWh _e /Monat	Differenz Restbedarf kWh _e /a
Januar	36.653	29.346	7.307
Februar	34.623	27.249	7.374
März	39.636	30.490	9.146
April	31.640	28.286	3.354
Mai	33.891	27.062	6.828
Juni	32.485	29.313	3.172
Juli	27.859	27.290	570
August	24.456	24.456	0
September	34.649	31.853	2.796
Oktober	33.852	27.344	6.508
November	39.627	26.838	12.789
Dezember	38.426	17.084	21.342
Summe	407.797	326.610	81.187

Tabelle 4-1 Strombedarfsabdeckung mit 250 kW Windkraftanlage, 110 kW Fotovoltaikanlage und 150 kW NaS im Jugendhilfezentrum

Für die Jahresbilanz 2004 kann mit 250 kW Windkraft und 110 kW Fotovoltaik in Kombination mit einer 150 kW NaS-Batterie rund 20 % des Strombedarfs im Jugendhilfezentrum nicht abgedeckt werden.

Auffällig ist, dass von April bis September die kleinsten Differenzen und in den Wintermonaten die größten Differenzen vorliegen. Damit entspricht der nicht durch Windkraft, Fotovoltaik und NaS-Batterie abgedeckte Reststrombedarf dem Wärmebedarfsprofil von Wohngebäuden, wie die folgende Abbildung belegt. In Wohnhäusern liegt ganzjährig ein verhältnismäßig konstanter Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung vor, während in den Wintermonaten durch den Wärmebedarf zur Raumheizung der höchste Gesamtwärmebedarf vorliegt. Der deckungsgleiche Verlauf des noch abzudeckenden Strombedarfs im Jugendhilfezentrum und des Wärmebedarfs ist eine optimale Voraussetzung für den Einsatz und einen effizienten Betrieb von KWK-Anlagen.

In den weiteren Analysen wird daher untersucht, ob der in Höhe von 20 % des Jahresstromverbrauchs geringe Reststrombedarf auf Basis von Bioenergie mit zwei 56 kW_e-BHKW-Modulen gedeckt werden kann.

Bei den KWK-Anlagen sind Systeme hoher Stromkennzahl vorzuziehen, um den Bioenergiebedarf zu minimieren. Denn das örtliche Aufkommen an Bioenergie ist begrenzt. Zudem ist für die Biomasse eine adäquate Wertschöpfung nur möglich, wenn sie als wertvolle Ausgleichsenergie für den fluktuierenden Wind- und Solarstrom dient. D.h. Windkraft und Foto-

voltaik werden durch die Ausgleichsenergie Biomasse vollwertig. Insoweit wäre die Nutzung der speicherbaren Biomasse zur Grundlastdeckung eine nicht gänzlich ausgereizte Wertschöpfung.

Zusätzlich sind modulierende Systeme bei der Konzeptauslegung zu bevorzugen, um den Reststrombedarf lastganggerecht abzubilden.

Zur Veranschaulichung ist für ein Jahr der noch abzudeckende Strombedarf im Jugendhilfzentrum sowie der Wärmebedarf zur Raumheizung und Warmwasserbereitung als prozentuale Aufteilung auf die Monate eines Jahres dargestellt.

Vergleich der Versorgungslücke

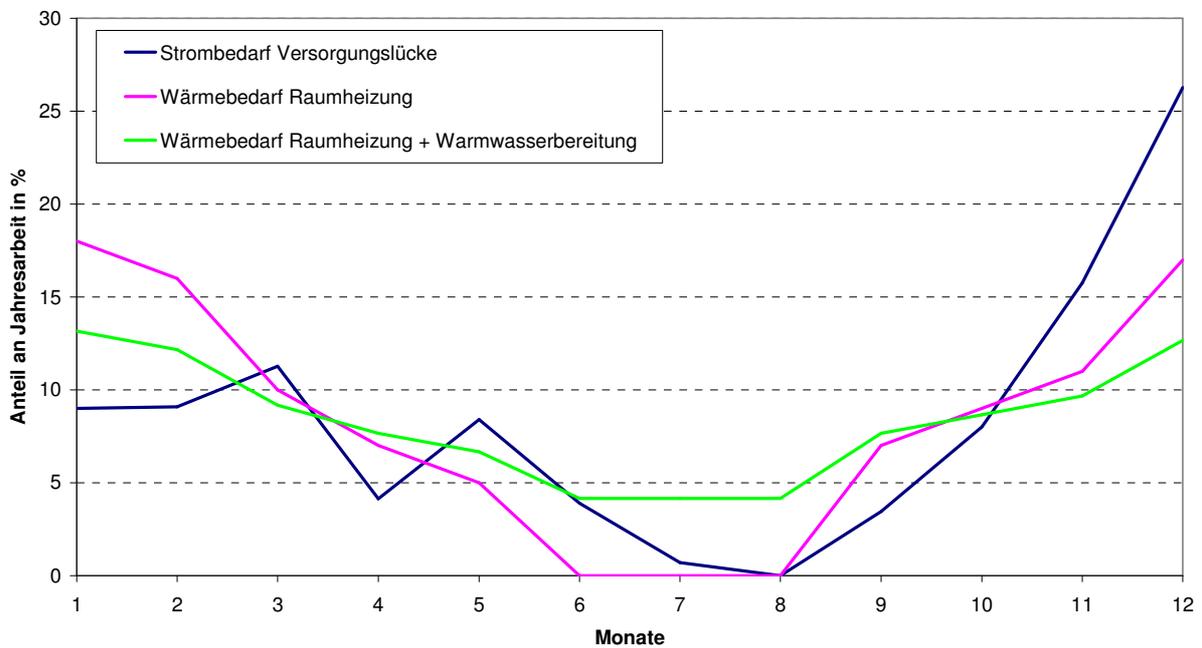


Abbildung 4-3 Prozentuale Aufteilung Reststrombedarf und Wärmebedarf

4.1 Optimierung des Stromverbrauchs

Neben der Stromerzeugung ist die Verbrauchsseite von wesentlicher Bedeutung. Hier kann durch Optimierung das Auftreten von Versorgungslücken in Grenzen vermieden werden. Diese gilt insbesondere für einzelne Spitzen.

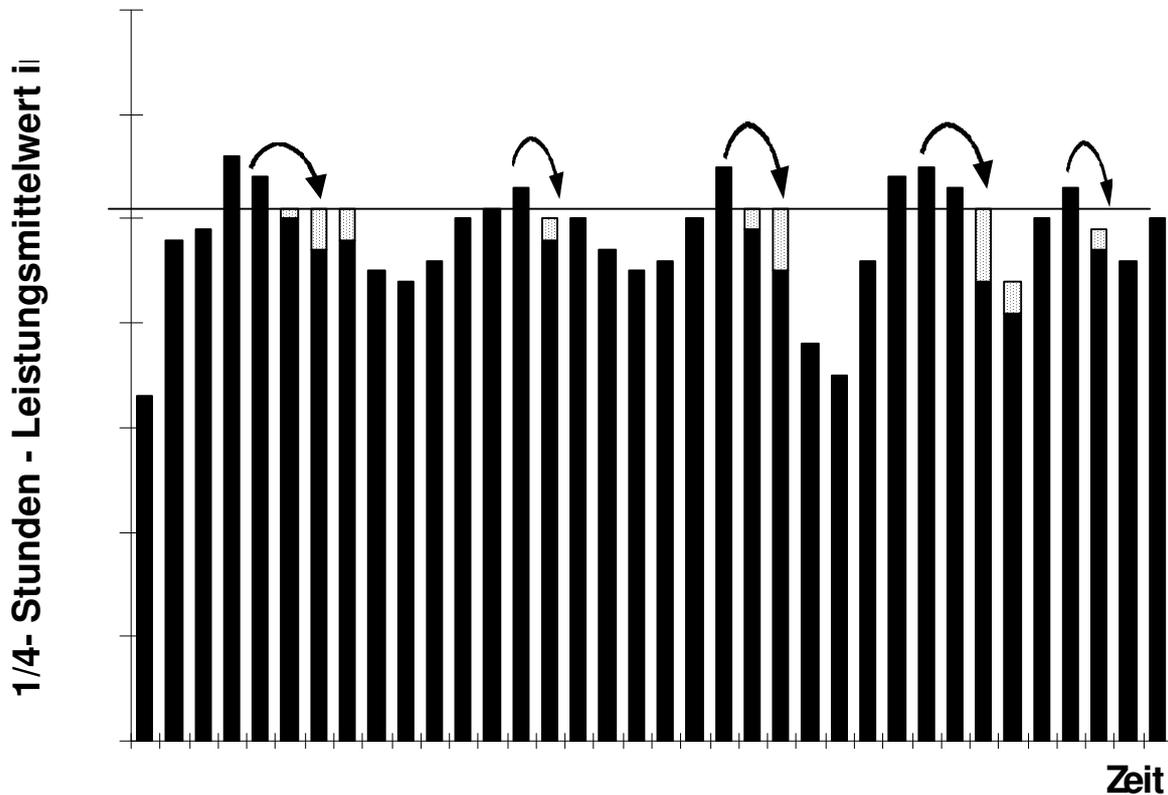


Abbildung 4-4 Verbrauchsoptimierung durch verschieben von Stromverbrauch

Mit Hilfe einer Steuerung werden bestimmte Verbraucher kurzzeitig vom Netz genommen. Besonders geeignet sind Verbraucher, die kurzzeitig Energie speichern können. Diese finden sich heute in der Regel im gewerblichen Bereich. Beispiele hierfür sind thermische Prozesse mit Öfen, Druckluft-, Kälteanlagen, Im privaten Bereich sind zukünftig Haushaltsgeräte wie Waschmaschinen und Trockner als zu schaltenden Geräte möglich. Für das Jugendhilfezentrum ist die kurzzeitige Abschaltung von elektrischen Geräten in der Schreinerei und in der Wäscherei denkbar.

Der Betrieb von elektrischen Anlagen muss ohne Komfortverlust auch unter der Randbedingung des Angebotes an Strom erfolgen.

4.2 Umsetzungsmöglichkeiten Bioenergie-BHKW als Regelenergieanlage

Um die Versorgungslücke im Jugendhilfezentrum in Höhe von 20 % des Jahresstrombedarfs anstelle des Strombezugs aus dem öffentlichen Netz abzudecken, wird der Einsatz einer BHKW-Anlage auf Basis heimischer Bioenergie geprüft. Dazu kann Biogas oder Pflanzenöl eingesetzt werden.

Anhand des Lastgangs des Reststrombedarfs (entspricht der Differenz aus dem Strombedarf des Jugendhilfezentrums und der Strombedarfsabdeckung aus Windkraft, Fotovoltaik und NaS-Batterie) wird die KWK-Anlage ausgelegt.

Der Lastgang des Strombedarfs der Versorgungslücke zeigt, dass in der Spitze eine elektrische Leistung von 185 kW_{el} benötigt wird.

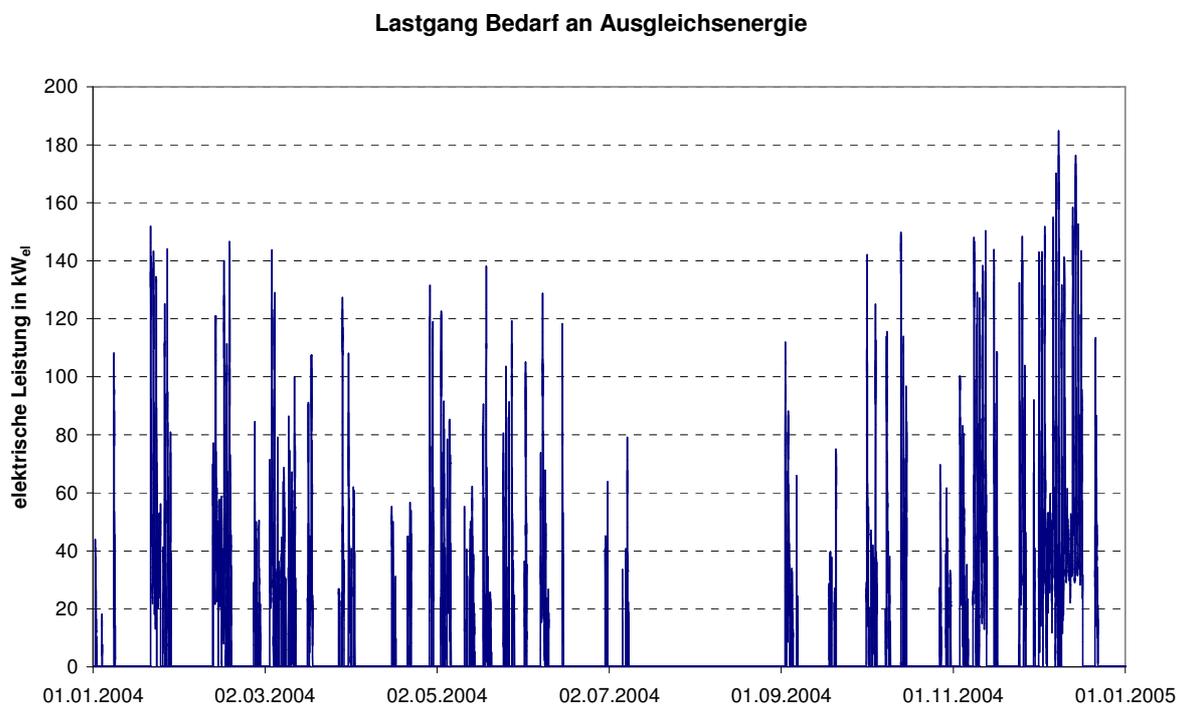


Abbildung 4-5 Jahresverlauf Bedarf an Ausgleichsenergie
mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik und 150 kW NaS-Batterie

Grundsätzlich kann die vollständige Stromversorgung des Jugendhilfezentrums mit einer Windkraftanlage, einer Fotovoltaikanlage und einer BHKW-Anlage, die Regelenergie bereitstellt, umgesetzt werden.

Da in dieser Studie der Einsatz einer NaS-Batterie geprüft wird, wird die BHKW-Anlage so ausgelegt, dass sie nicht nur Regelenergie bereitstellt, sondern auch Strom zum Laden der NaS-Batterie liefert. Durch diese Kombination muss nicht die elektrische Spitzenleistung in der Versorgungslücke von 185 kW_{el} von der BHKW-Anlage bereitgestellt werden. In den weiteren Betrachtungen ist eine Bioenergie-BHKW-Anlage aus zwei Modulen mit jeweils 56 kW_{el} zu Grunde gelegt.

Die BHKW-Anlage liefert dann Strom, der direkt zur Bedarfsdeckung eingesetzt wird, wenn die elektrische Leistung in der Versorgungslücke über 112 kW_{el} liegt. Den Restbedarf liefert

die NaS-Batterie. Dazu ist es notwendig, dass die BHKW-Anlage auch die NaS-Batterie lädt. Das Laden der NaS-Batterie mit der BHKW-Anlage erfolgt abhängig von der momentanen Speicherkapazität. Sobald die Speicherkapazität rund $300 \text{ kWh}_{\text{el}}$ beträgt, also noch bis zur vollständigen Entladung einmal eine elektrische Leistung von $150 \text{ kW}_{\text{el}}$ in 15 Minuten bereitstellen kann, lädt die BHKW-Anlage die NaS-Batterie. Bis zur Hälfte der maximalen Speicherkapazität in Höhe von $645 \text{ kWh}_{\text{el}}$ erfolgt die Ladung durch die BHKW-Anlage. Unter diesen Bedingungen erzeugt die BHKW-Anlage nur Regelenergie und keinen Stromüberschuss.

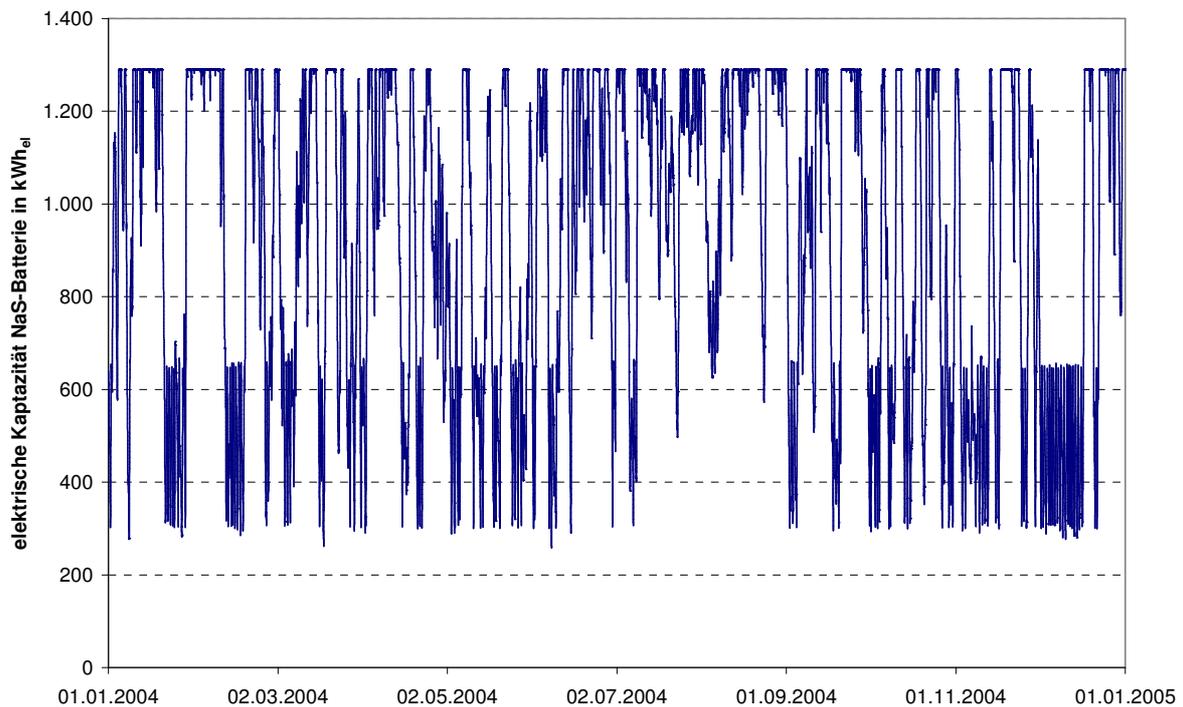


Abbildung 4-6 Jahresverlauf der Batteriespeicherkapazität mit 250 kW Windkraftanlage, 110 kW Fotovoltaikanlage, 112 kW Bioenergie-BHKW und 150 kW NaS-Batterie

Lastgang Stromüberschuss

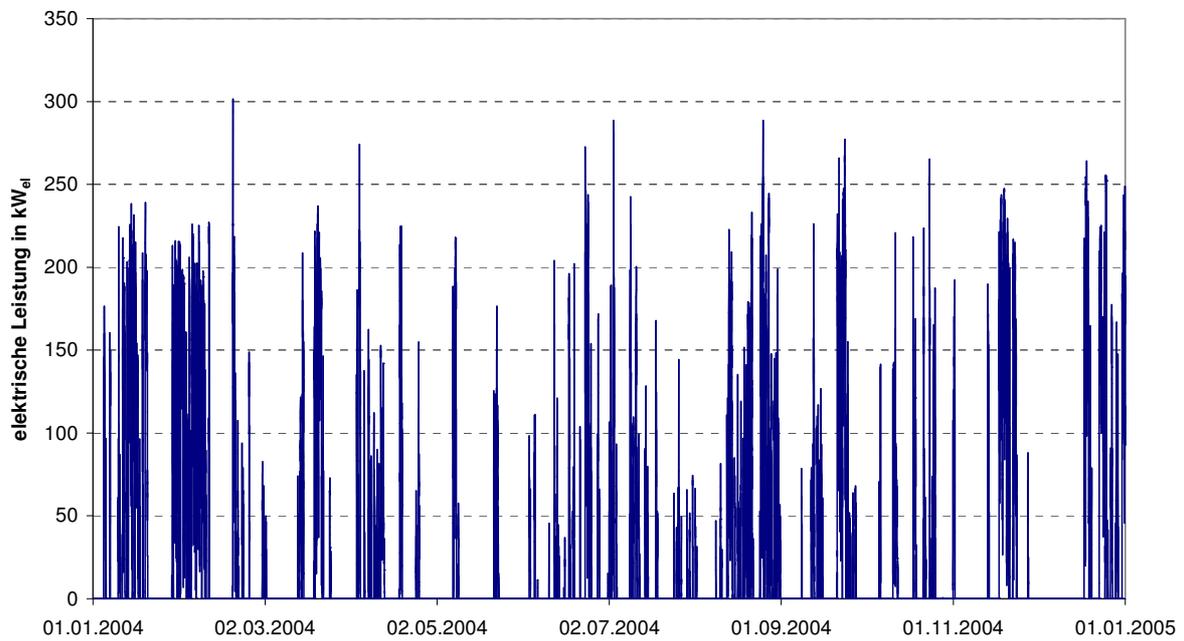


Abbildung 4-7 Lastgang Stromüberschuss mit 250 kW Windkraftanlage, 110 kW Fotovoltaikanlage, 112 kW Bioenergie-BHKW und 150 kW NaS-Batterie

Elektrische Leistung Windkraft	250 kW _{el}
Elektrische Leistung Fotovoltaik	110 kW _{el}
Elektrische Leistung Bioenergie-BHKW	112 kW _{el}
Elektrische Leistung NaS-Batterie	150 kW _{el}
Elektrische Speicherkapazität NaS-Batterie	1.290 kWh _{el}
Strombedarf Jugendhilfezentrum	407.797 kWh _{el} /a
Stromerzeugung 250 kW Windkraft	421.769 kWh _{el} /a
Stromerzeugung 110 kW Fotovoltaik	122.900 kWh _{el} /a
Stromerzeugung 112 kW Bioenergie-BHKW	115.332 kWh _{el} /a
Direkter Verbrauch Windstrom	194.924 kWh _{el} /a
Direkter Verbrauch Solarstrom	63.795 kWh _{el} /a
Direkter Verbrauch Bioenergie-BHKW-Strom	13.272 kWh _{el} /a
Verbrauch an Wind-, Solar- und Bioenergie-BHKW-Strom zum Laden der NaS-Batterie	136.734 kWh _{el} /a
Verbrauch an Wind-, Solar- und Bioenergie-BHKW-Strom als Hilfsstrom für die NaS-Batterie	45.578 kWh _{el} /a
Strombereitstellung NaS-Batterie	135.806 kWh _{el} /a
Einspeisung Überschusswindstrom vorgelagertes Netz	174.343 kWh _{el} /a
Einspeisung Überschuss solarstrom vorgelagertes Netz	31.354 kWh _{el} /a
Einspeisung Überschuss-Bioenergie-BHKW-Strom vorgelagertes Netz	0 kWh _{el} /a
Bedarf an Ausgleichsenergie aus Netzstrombezug	0 kWh _{el} /a

Tabelle 4-2 Stromerzeugung und –bedarfsabdeckung mit 250 kW Windkraftanlage, 110 kW Fotovoltaikanlage, 112 kW Bioenergie-BHKW und 150 kW NaS-Batterie

		Jahr	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Strombedarf Jugendhilfezentrum	MWh _{el} /a	408	37	35	40	32	34	32	28	24	35	34	40	38
Stromerzeugung 250 kW Windkraft	MWh _{el} /a	422	57	51	34	27	19	26	24	33	38	30	43	40
Stromerzeugung 110 kW Fotovoltaik	MWh _{el} /a	123	4	7	11	13	16	15	16	15	11	8	4	3
Stromerzeugung 112 kW Bioenergie-BHKW	MWh _{el} /a	115	10	11	13	5	10	6	1	0	4	10	18	27
Direkter Verbrauch Windstrom	MWh _{el} /a	195	22	20	18	15	12	14	14	15	18	16	18	13
Direkter Verbrauch Solarstrom	MWh _{el} /a	64	2	3	6	7	9	8	7	6	7	4	3	1
Direkter Verbrauch Bioenergie-BHKW-Strom	MWh _{el} /a	13	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	3	5
Wind-, Solar- und Bioenergie-BHKW-Stromverbrauch NaS-Batterie laden	MWh _{el} /a	137	12	11	14	9	13	10	7	4	9	13	15	19
Wind-, Solar- und Bioenergie-BHKW-Stromverbrauch NaS-Batterie Hilfsstrom	MWh _{el} /a	46	4	4	5	3	4	3	2	1	3	4	5	6
Strombereitstellung NaS-Batterie	MWh _{el} /a	136	12	11	14	9	12	11	7	4	10	12	15	19
Einspeisung vorgelagertes Netz														
Überschusswindstrom	MWh _{el} /a	174	28	28	12	7	4	8	6	16	15	8	19	23
Überschuss solarstrom	MWh _{el} /a	31	2	2	3	2	4	4	6	2	1	1	1	1
Überschuss-Bioenergie-BHKW-Strom	MWh _{el} /a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bedarf an Ausgleichsenergie aus Netz	MWh _{el} /a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anteil nutzbarer, regenerativer Strom ohne NaS-Batterie	%	67	68	69	64	71	64	67	76	82	73	64	61	51
Anteil nutzbarer, regenerativer Strom mit NaS-Batterie	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 4-3 Monatliche Stromerzeugung und -bedarfsabdeckung mit 250 kW Windkraftanlage, 110 kW Fotovoltaikanlage, 112 kW Bioenergie-BHKW und 150 kW NaS-Batterie

5 Wirtschaftlichkeit einer technisch umsetzbaren NaS-Batterie-Anlage

Es wird zwischen zwei Betrachtungen unterschieden. Zunächst wird ermittelt, welche Strompreissteigerung sich durch den Einsatz einer NaS-Batterie einstellt. Dieser Anteil ist auf den Preis für den regenerativen Strom aufzuschlagen.

In der zweiten Betrachtung wird als Bilanzgrenze das Jugendhilfezentrum gewählt, das mit Strom zu versorgen ist.

5.1 Wirtschaftlichkeit NaS-Batterie

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten einer NaS-Batterie-Anlage mit 150 kW_{el} anhand von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Strom	0 Ct/kWh _{el}
Erhöhte Anfangsvergütung Windstrom 2006	8,36 Ct/kWh _{el}
Basisvergütung Windstrom 2006	5,28 Ct/kWh _{el}
Vergütung Dachfläche Solarstrom < 30 kW 2006	51,80 Ct/kWh _{el}
Vergütung Bioenergie-BHKW-Strom 2006	19,16 Ct/kWh _{el}

Der Strom für die Ladung und den Hilfsenergiebedarf der NaS-Batterie wird von Windkraft, Fotovoltaik und Bioenergie-BHKW bereitgestellt.

Als zusätzliche Variante wird ein Stromgestehungspreis analog zur Einspeisevergütung nach dem EEG angesetzt. Dazu wird die Einspeisevergütung für den Wind- und Solarstrom nach dem EEG für die Inbetriebnahme in 2006 berechnet. Es wird für die Windkraftanlage zwischen einer erhöhten Anfangsvergütung und einer Basisvergütung unterschieden. Für Fotovoltaik gelten die Vergütungssätze in unveränderter Höhe für einen Zeitraum von 20 Jahren. Der Strom zu Batterieladung und als Hilfsenergie wird entsprechend den Anteilen vergütet.

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung NaS-Batterie 0,5 % der Investition¹
 Personalkosten 30 €/h

	NaS-Batterie
Elektrische Leistung	150 kW _{el}
Maschinentchnik	
NaS-Batterie mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	270.000 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	41.000 €
Gesamtinvestition	311.000 €

Tabelle 5-1 Investitionskosten NaS-Batterie

¹ Annahme TSB, derzeit keine Daten bekannt, angelehnt an Wartungsaufwand elektrische Anlagen

Durch den Einsatz der NaS-Batterie-Anlage kann ein größerer Anteil der regenerativ erzeugten Strommenge zur Abdeckung des Strombedarfs im Jugendhilfezentrum als ohne Batterie herangezogen werden. So können ohne NaS-Batterie rund 258.719 kWh_{el}/a erzeugter Strom zur Strombedarfsabdeckung genutzt werden, während mit NaS-Batterie ca. 326.610 kWh_{el}/a genutzt werden, was zu einer Verbesserung um 21 % führt.

Aufgrund dessen wird der spezifische Strompreis ermittelt, der zu dem spezifischen Strompreis für den im Jugendhilfezentrum erzeugten Strom hinzu addiert werden muss. Dieser Strompreis hängt von den angesetzten Verbrauchs- und Betriebskosten der NaS-Batterie ab.

		Ohne Verbrauchs- kosten	Windstrom erhöhte An- fangsvergütung 8,3 Ct/kWh _{el}	Windstrom Basisvergütung 5,28 Ct/kWh _{el}
Elektrische Leistung	kW _{el}	150	150	150
Investitionskosten	€	311.000	311.000	311.000
Kapitalkosten	€/a	32.021	32.021	32.021
Verbrauchs-kosten	€/a	0	38.319	35.589
Betriebskosten	€/a	2.000	2.000	2.000
Jahreskosten	€/a	34.021	72.340	69.610
Strombedarf Jugendhilfezentrum	kWh _{el} /a	407.797	407.797	407.797
Strompreisaufschlag NaS-Batterie	Ct/kWh _{el}	8,3	17,7	17,1

Tabelle 5-2 Wirtschaftlichkeit NaS-Batterie

Der erforderliche Strompreisaufschlag für den Einsatz einer 150 kW NaS-Batterie im Jugendhilfezentrum hängt von den unterstellten Stromkosten des Ladestroms ab.

Für den Einsatz einer NaS-Batterie zur Erhöhung der Nutzung von regenerativem Strom im Jugendhilfezentrum wird sich der spezifische Strompreis des erzeugten Stroms um mindestens 8,3 Ct/kWh_{el} erhöhen. Unter Anrechnung der jeweiligen Einspeisevergütung nach dem EEG ergibt sich ein Strompreisaufschlag von 17,7 Ct/kWh_{el} bzw. 17,1 Ct/kWh_{el}.

5.2 Wirtschaftlichkeit Stromversorgung Jugendhilfezentrum

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten für die Stromversorgung des Jugendhilfezentrums unter Einbeziehung einer NaS-Batterie-Anlage mit 150 kW_{el} elektrische Leistung der NaS-Batterie anhand von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Es wird angenommen, dass der Überschussstrom unter Anrechnung einer Einspeisevergütung ins öffentliche Stromnetz eingespeist wird.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer NaS-Batterie	15 Jahre
Abschreibungsdauer Windkraftanlage, Fotovoltaik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bioenergie-BHKW	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Spez. Rapsölpreis Bioenergie-BHKW	70 Ct/kWh _{el}
-----------------------------------	-------------------------

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung NaS-Batterie	0,5 % der Investition ¹
Wartung / Instandhaltung Windkraftanlage	1 Ct/kWh _{el}
Wartung / Instandhaltung Fotovoltaik	2 Ct/kWh _{el}
Wartung / Instandhaltung Bioenergie-BHKW	1,10 Ct/kWh _{el}
Personalkosten	30 €/h

Bestimmung Erlöse regenerative Stromeinspeisung ins öffentliche Netz

Die Einspeisevergütung für den Wind- und Solarstrom wird nach dem EEG für die Inbetriebnahme in 2006 berechnet. Für den Windstrom wird zwischen der Einspeisung mit hoher Anfangsvergütung und spätere Basisvergütung unterschieden. Für Fotovoltaik gelten die Vergütungssätze in unveränderter Höhe für einen Zeitraum von 20 Jahren.

Erhöhte Anfangsvergütung Windstrom 2006	8,36 Ct/kWh _{el}
Basisvergütung Windstrom 2006	5,28 Ct/kWh _{el}
Vergütung Dachfläche Solarstrom 110 kW 2006	49,92 Ct/kWh _{el}

¹ Annahme TSB, derzeit keine Daten bekannt, angelehnt an Wartungsaufwand elektrische Anlagen

Bestimmung Erlöse CO₂-Einsparung durch CO₂-Emissionshandel

Der regenerativ erzeugte Strom vermindert die Stromerzeugung im Kraftwerksmix, was mit einer entsprechenden CO₂-Emissionsminderung verbunden ist. Die Einsparung berechnet sich aus dem Kohlendioxidäquivalent für Strom-Benchmark von 750 g CO₂/kWh_{th} nach dem Zuteilungsgesetz und der Zuteilungsverordnung für den Emissionshandel. Dieser Wert berechnet sich aus dem gewichteten Durchschnitt der Emissionswerte für die Stromerzeugung in modernen Braunkohle-, Steinkohle- und Erdgaskraftwerken.

Nach den Marktdaten einer der europäischen Handelsplattform EXAA (Energy Exchange Austria) beträgt der Preis für CO₂-Zertifikate für das Produkt „Spot 2006“ am Handelstag 02.05.2006 11,3 €/t.

Bestimmung Erlöse Wärmebereitstellung KWK-Anlagen

Über die vermiedenen Brennstoffkosten der Heizkessel werden die Erlöse aus der Wärmebereitstellung der KWK-Anlagen bestimmt.

Spez. Heizölpreis Heizkessel¹

51 Ct/l

In der Tabelle sind die Investitionskosten zusammengestellt.

Elektrische Leistung Windkraftanlage	250 kW _{el}
Elektrische Leistung Fotovoltaikanlage	110 kW _{el}
Elektrische Leistung Bioenergie-BHKW	112 kW _{el}
Elektrische Leistung NaS-Batterie	150 kW _{el}
NaS-Batterie mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	270.000 €
Windkraftanlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	250.000 €
Fotovoltaikanlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	495.000 €
Bioenergie-BHKW mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	233.000 €
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	187.000 €
Gesamtinvestition	1.435.000 €

Tabelle 5-3 Investition Stromversorgung Jugendhilfezentrum

¹ Heizölbörse Deutschland: 54 PLZ-Gebiet, 1. KW 2006, spez. Heizölpreis für 10.000 l Liefermenge

Die Jahreskosten inklusive der Gutschriften stellen sich wie folgt dar.

		Windstrom erhöhte An- fangsvergütung 8,3 Ct/kWh _{el}	Windstrom Basisvergütung 5,28 Ct/kWh _{el}
Elektrische Leistung Windkraftanlage	kW _{el}	250	250
Elektrische Leistung Fotovoltaikanlage	kW _{el}	110	110
Elektrische Leistung Bioenergie-BHKW	kW _{el}	112	112
Elektrische Leistung NaS-Batterie	kW _{el}	150	150
Investitionskosten	€	1.435.000	1.435.000
Kapitalkosten	€/a	135.997	135.997
Verbrauchskosten	€/a	26.697	26.697
Betriebskosten	€/a	13.400	13.400
Summe Kosten	€/a	176.094	176.094
Gutschrift Überschussstrom	€/a	30.227	24.857
Gutschrift CO ₂ -Emissionen	€/a	5.594	5.594
Gutschrift Wärme	€/a	10.892	10.892
Summe Erlöse	€/a	46.713	41.343
Jahreskosten	€/a	129.381	134.751
Strombedarf Jugendhilfezentrum	kWh _{el} /a	407.797	407.797
Spez. Strompreis	Ct/kWh _{el}	31,7	33,0

Tabelle 5-4 Wirtschaftlichkeit Stromversorgung Jugendhilfezentrum

Die Stromversorgung des Jugendhilfezentrums mit Windkraftanlage, Fotovoltaikanlage, Bioenergie-BHKW, NaS-Batterie und unter Einbeziehung des öffentlichen Stromnetzes zur Einspeisung des Überschussstroms führt zu etwa 129.000 €/a bzw. 135.000 €/a Jahreskosten. In Bezug auf den Strombedarf des Jugendhilfezentrums von 407.797 kWh_{el}/a beträgt der spezifische Strompreis 31,7 Ct/kWh_{el} bzw. 33,0 Ct/kWh_{el}.

Zur Bestimmung des Strompreises im Jugendhilfezentrum für die Stromversorgung mit 250 kW Windkraftanlage, 110 kW Fotovoltaikanlage, 150 kW NaS-Batterie und 112 kW Bioenergie-BHKW werden als Stromgestehungskosten die spezifischen Einspeisevergütungen angesetzt.

Erhöhte Anfangsvergütung Windstrom 2006	8,36 Ct/kWh _{el}
Basisvergütung Windstrom 2006	5,28 Ct/kWh _{el}
Vergütung Dachfläche Solarstrom 110 kW 2006	49,92 Ct/kWh _{el}
Vergütung Bioenergie-BHKW.Strom 2006 (nachwachsende Rohstoffe, 100 % KWK)	19,16 Ct/kWh _{el}

		Windstrom erhöhte Anfangsvergütung 8,3 Ct/kWh _{el}	Windstrom Basisvergütung 5,28 Ct/kWh _{el}
Stromkosten direkter Stromverbrauch Windkraft	€/a	16.296	10.292
Stromkosten direkter Stromverbrauch Fotovoltaik	€/a	31.847	31.847
Stromkosten direkter Stromverbrauch Bioenergie-BHKW	€/a	2.543	2.543
Stromkosten NaS-Lade und Hilfsstromverbrauch Windkraft	€/a	4.389	2.772
Stromkosten NaS-Lade und Hilfsstromverbrauch Fotovoltaik	€/a	13.853	13.853
Stromkosten NaS-Lade und Hilfsstromverbrauch Bioenergie-BHKW	€/a	19.555	19.555
Summe Stromkosten	€/a	88.483	80.862
Stromverbrauch Jugendhilfezentrum	kWh _{el} /a	407.797	407.797
Spez. Strompreis	Ct/kWh_{el}	21,7	19,8

Tabelle 5-5 Spezifischer Strompreis der Stromversorgung Jugendhilfezentrum mit 250 kW Windkraft, 110 kW Fotovoltaik, 112 kW Bioenergie-BHKW und 150 kW NaS-Batterie

6 Zusammenfassung

Die Strom- und Wärmeversorgung des Jugendhilfezentrums „Haus auf dem Wehrborn“ in Aach ist technisch möglich und wirtschaftlich vorstellbar. Entscheidende Problemstellung ist die lastganggerechte Deckung des Energiebedarfs. Der Strombedarf beträgt $194 \text{ kW}_{\text{el}}$ bei einer Jahresarbeit von $407.797 \text{ kWh}_{\text{el/a}}$.

Zur Stromerzeugung werden eine Windkraftanlage mit $250 \text{ kW}_{\text{el}}$, Fotovoltaikanlagen mit $110 \text{ kW}_{\text{el}}$ und ein Biomasse-Blockheizkraftwerk mit $112 \text{ kW}_{\text{el}}$ zum Einsatz gebracht.

Zentrales Thema bei der lastganggerechten Energiebedarfsdeckung ist die Speicherung. Dazu kommt eine Natrium-Schwefel-Batterie als Speicher zur Anwendung. Diese Batterie wird in Japan und USA kommerziell in der Stromversorgung von größeren Objekten eingesetzt und hat das Potenzial, in Kombination mit fluktuierenden Stromerzeugern sinnvoll angewendet zu werden. Die für das Jugendhilfezentrum gewählte Batteriegroße von $150 \text{ kW}_{\text{el}}$ und einer Kapazität von $1.290 \text{ kWh}_{\text{el}}$ ist auf den Bedarf ausgelegt.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergibt Mehrkosten für den Einsatz der Batterie von $8,3 \text{ Ct/kWh}_{\text{el}}$ bzw. $17 - 18 \text{ Ct/kWh}_{\text{el}}$ unter Anrechnung der jeweiligen Einspeisevergütung nach dem EEG. In Verbindung mit Stromerzeugungskosten ergeben sich Stromgestehungskosten von rund $32 \text{ Ct/kWh}_{\text{el}}$. Dieser Wert ist kein Wert, der bei der Betrachtung der Energiepreisentwicklung der vergangenen Jahre zumindest längerfristig unmöglich erscheint. Zusätzlich stellt sich die regionale Wertschöpfung als wirtschaftlichen Vorteil dar.

Der nach der Deckung des Strombedarfs verbleibende Restüberschussstrom steht für weitere Nutzungen zur Verfügung. Zeitlich gesehen steht er im Wesentlichen außerhalb des Winters zur Verfügung. Das Potenzial von $205.697 \text{ kWh}_{\text{el/a}}$ kann in andere Netze exportiert werden, zum Betrieb von Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen oder in Form von Wasserstoff gespeichert bzw. genutzt werden.

Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass es möglich ist, eine kleinere Einheit als eine Gemeinde in Form des Jugendhilfezentrums lastganggerecht mit Strom aus regenerativen Quellen zu versorgen. In nächsten theoretischen Schritten muss diese Arbeit an vielen Stellen detailliert werden. Beispielsweise durch die Beeinflussung von Energieverbrauch kann das Gesamtsystem deutlich optimiert werden. Der Einstieg in diese andere Energieversorgung kann heute schon wirtschaftlich mit dem Bau von Windenergieanlagen, Fotovoltaikanlagen und Bioenergie-BHKW begonnen werden. Parallel dazu gilt es, ein Pilotprojekt mit der NaS-Batterie auf den Weg zu bringen, damit in Rheinland-Pfalz Erfahrungen mit dieser Technologie gesammelt werden können.

Mit einer Konzentration dieser Aktivitäten auf eine kleine Einheit in Form des Jugendhilfezentrums kann so ein Modell zur vollständigen regenerativen Energieversorgung geschaffen werden.