

Dezentrale Speicher für Windräder: Reicht ein einfaches Fördermodell mit Einspeiselimit?

E. Waffenschmidt,
Fachhochschule Köln, 3.9.2012

Dezentrale Speicher in Kombination mit Erneuerbaren Energieerzeugern könnten recht einfach gefördert werden: Die Einspeiseleistung wird limitiert und dabei die überschüssige Energie gespeichert um sie später wieder einzuspeisen. Der Speicher wird durch eine entsprechende Vergütung der eingespeisten Energie finanziert. Ziel wäre, die Netze zu entlasten und damit mehr Anlagen anschließen zu können und eine Markteinführung anzuregen. Wäre so ein Modell für Windanlagen sinnvoll?

Das Ergebnis: Um bei einer Limitierung von 30% der Spitzenleistung die Windenergie vollständig nutzen zu können, ist ein Speicher in der Größenordnung von 100 kWh/kWpk notwendig. Das ist etwa 25-mal so viel wie bei Photovoltaikanlagen notwendig ist.

1. Einleitung

Der Ausbau der Solarenergie in Deutschland schreitet rasant voran und ist ein weltweites Vorbild und Erfolgsmodell. Der Ausbau geht so schnell, dass in absehbarer Zeit elektrische Speicher in deutlich größerem Umfang als heute bereitstehen müssen. Damit dann Speicher in großem Maße preisgünstig vorhanden sein werden, müssen heute schon die Grundlagen gelegt werden und Fördermodelle eingeführt werden, ähnlich wie vor rund zwölf Jahren das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) den Anstoß zu der dramatischen Preisreduktion bei der Photovoltaik und auch bei der Windenergie geführt hat. Als weiteres Hindernis für den Ausbau zeigt sich inzwischen, dass manche Anschlussleitungen nicht stark genug dimensioniert sind, um die Energie von Wind- und Solaranlagen immer transportieren zu können.

Der Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V. (SFV) [1] hat daher einen Vorschlag für dezentrale Speicher in Kombination mit Photovoltaikanlagen erarbeitet, der beide Probleme angeht (siehe Artikel von Wolf von Fabek in dieser Ausgabe). Der Vorschlag beinhaltet eine Limitierung der Einspeisung auf 30% der Spitzenleistung der Photovoltaikanlage. Damit keine Energie verloren geht, wird Energie, die gerade nicht eingespeist werden kann, in einer Batterie gespeichert und später eingespeist. Als finanzielle Kompensation für den Speicher wird ein zusätzlicher Speicherbonus pro eingespeister Kilowattstunde vorgesehen. Mit diesem Vorschlag wird zum einen das Anschlussproblem entschärft. Zum anderen wird mit diesem einfach zu handhabenden Fördermodell die Entwicklung von kostengünstigen dezentralen elektrischen Speichern angeregt.

Es stellt sich nun die Frage, ob ein solches einfaches Modell auch für Windanlagen geeignet ist. Bild 1 illustriert das Prinzip des Vorschlags für Windanlagen: Zu Zeiten, in denen die Windanlage mehr als das Limit von hier 30% der Spitzenleistung erzeugt (orange Kurve), wird nur maximal das Limit von 30% ins Netz eingespeist (türkise Kurve) und der Rest gespeichert. Wenn die Windleistung geringer als das Limit ist, wird aus der Batterie ausgespeichert (graue Kurve), solange die Batterie noch Energie hat.

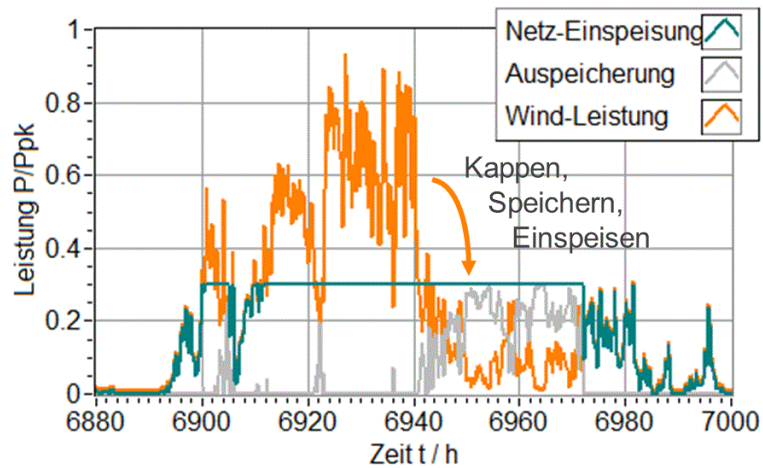
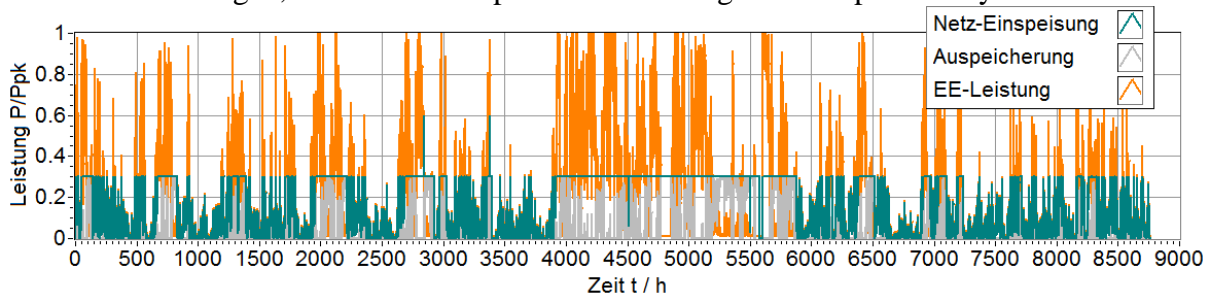


Bild 1: Einspeisung von Windstrom mit Speicher und Limitierung der Einspeiseleistung auf 30% der installierten Photovoltaikleistung.

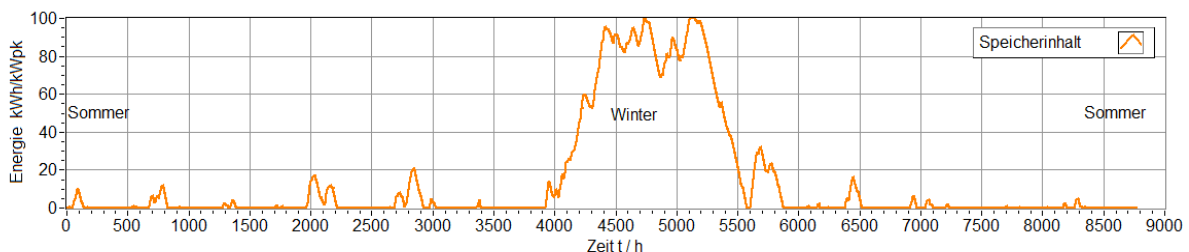
2. Messdaten und Simulation

Ausgangsbasis sind die Daten einer Windanlage im Windpark bei Aachen Vetschau. Die Peak-Leistung beträgt 1,5 MW, mit maximaler Einspeisung von 1,8 MW. Die Daten liegen von 1.1.2011 bis 1.12.2011 im Raster von 10 min vor. Damit am Ende keine Restenergie im Speicher ist, die das Untersuchungsergebnis verfälschen würde, wurden die Daten in zwei Hälften geteilt und umsortiert, sodass sie im Sommer am 16.6. beginnen. Bild 2a zeigt in orange die erzeugte Windenergie. Die Daten wurden mit einem vom Autor erstellten Simulationsprogramm weiterverarbeitet. Dieses Programm simuliert Einspeisung und Speicherung, wie in Bild 1 dargestellt. Ein- und Ausspeicherverluste werden dabei berücksichtigt.

Ein Durchlauf für das ganze Jahr ist in Bild 2a für ein Limit von 30% der Spitzenleistung dargestellt. Bild 2b zeigt den Ladezustand des Speichers. Dieser ist mit 100 kWh/kWPk gerade so groß dimensioniert, dass keine Energie verloren geht. Man sieht deutlich, dass er mit rund 12 Zyklen nur wenige Zyklen pro Jahr mitmacht. Dies ist ein deutlicher Unterschied zum Speicher-Betrieb mit Solaranlagen, bei denen der Speicher nahezu täglich ein Speicher-Zyklus mitmacht.



a)



b)

Bild 2: Daten der Windanlage über ein ganzes Jahr.

- a) Gemessen erzeugte Windenergie (orange), berechnete Netz-Einspeisung (türkis) und berechnete ausgespeicherte Leistung aus der Batterie (grau).
- b) Berechnete Energiemenge in einem „großen“ Speicher.

3. Ergebnisse

3.1. Einspeiselimitierung

Als Referenz zeigt in Bild 3 die orange Kurve, wie viel Energie man bei einem bestimmten Einspeiselimit noch einspeisen kann, wenn die überschüssige Energie *nicht* gespeichert wird. Bei einer Limitierung auf 30% kann immerhin noch 2/3 der maximal möglichen Energie im Stromnetz genutzt werden.

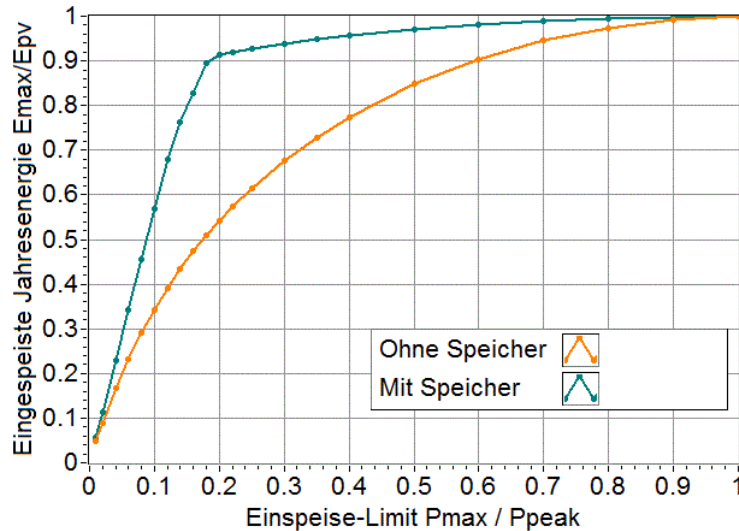


Bild 3: Energiemenge, die ohne (orange) und mit (türkis) Speicher eingespeist werden kann, wenn die Einspeisung limitiert wird.

Die türkise Kurve zeigt, wie viel Energie mit einem Speicher eingespeist, also „gerettet“ werden kann. Die Kurve ist mit einer Speichergröße von 1000 kWh/kWpk gerechnet, die hier als „großer“ Speicher definiert wird. Man erkennt, dass selbst mit einem „großen“ Speicher die verfügbare Energie nicht vollständig im Netz nutzbar ist. Die fehlende Energie entspricht zum einen den Verlusten beim Auf- und Entladen der Batterie. Bei einem Limit von weniger als 20% ist das Limit kleiner als die mittlere Leistung der Windanlage und es gibt zu keinem Zeitpunkt die Möglichkeit, die gekappte und gespeicherte Leistung wieder ins Netz einzuspeisen.

3.2. Speichergröße

Bild 4 gibt Hinweise darauf, wie groß ein Speicher sein muss, um Sinn zu machen. In diesem Bild sind die eingespeisten Energiemengen als Funktion der Speichergröße (bezogen auf die Peak-Leistung der Windanlage). Als Parameter für die verschiedenen Kurven sind unterschiedliche Einspeiselimits (orange = 30% Limit) gewählt. Für kleine Speichergrößen kann nur ein Teil der verfügbaren Energie eingespeist werden (vgl. Bild 3). Ab einer bestimmten Größe ist keine Verbesserung der Einspeisung mehr möglich. Bei einem Einspeiselimit von 30% liegt diese optimale Größe bei etwa 100 kWh/kWpk. Das Windrad, von dem die Daten stammen, benötigte demnach einen Speicher mit einer Größe von 180 MWh. Aufgrund der großen Zeitintervalle ändert sich das Ergebnis auch für große Windparks nicht wesentlich. Trotz des großen Speichers wird immer noch der größere Teil der Energie direkt ins Netz eingespeist. Bei einem Einspeiselimit von 30% wird nur bis zu 1/4 der Gesamtenergie im Speicher zwischengespeichert.

Für Photovoltaikanlagen ergibt sich ein ähnliches Bild. Allerdings liegt hier die entsprechende optimale Größe bei etwa 4 kWh/kWpk. Windanlagen bräuchten also pro Kilowatt an Spitzenleistung rund 25-mal so viel Speicher wie Photovoltaikanlagen, damit keine Energie verloren geht!

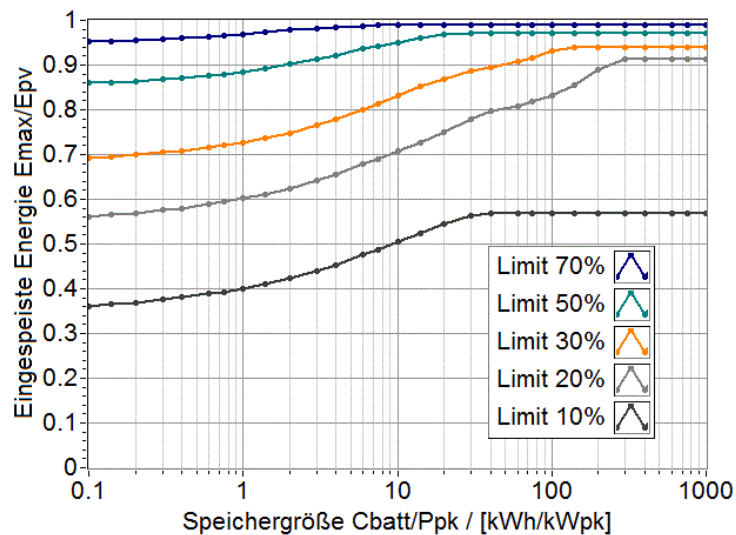


Bild 4: Energiemenge, die mit einem Speicher unterschiedlicher Größe eingespeist werden kann. Parameter für die verschiedenen Kurven ist das Einspeiselimit.

3.3. Speicherkosten

Die bisherigen Überlegungen waren weitgehend, bis auf die Speichereffizienz, unabhängig von der angenommenen Technologie des Speichers. Als weitere wichtige Größe sind die Kosten des Speichers interessant. Bei einer Abschätzung der notwendigen Kosten machen die unterschiedlichen Technologien jedoch einen großen Unterschied. Für Anwendungen im MWh-Bereich am weitesten kommerziell verbreitet sind NaS-Batterien, die daher für diese Untersuchung ausgewählt wurde. Es wurden Angaben zu Investitionskosten, Effizienz, Zyklenzahl und Lebensdauer von Projektentwickler Christoph Kurth verwendet (persönliche Angaben), die relativ aktuell kommerziell erhältliche Produkte widerspiegeln. Daraus wurden die spezifische Werte aus Tabelle 1 angenommen.

Tabelle 1: Angenommene Kenndaten

Typ	Investitionskosten pro Speichergröße / €/kWh	Peripherals / €/kWh	Interface (Laderegler etc.) / €/kW	Effizienz	Zyklenzahl bei Entladetiefe (DOD)	Kalendarische Lebensdauer / Jahre
NaS	400	-	40	80	4500	15

Wesentlich für die wirtschaftliche Betrachtung ist die Lebensdauer. Diese ist entweder durch die kalendarische Lebensdauer bestimmt, oder sie ergibt sich aus der Zeit, in der die maximalen Ladezyklen durchlaufen wurden.

In Bild 2b sind rund 12 Zyklen zu sehen, von denen die meisten nur Teilzyklen sind. Bei einer maximalen Zyklenzahl von 4500 Vollzyklen für eine NaS-Batterie erkennt man, dass diese hier mit Sicherheit nicht voll ausgelastet werden kann und das Ende durch die kalendarische Lebensdauer (15 Jahre) bestimmt wird. Die Batterie „steht sich kaputt“.

Damit lassen sich die jährlichen Kosten aus den Anschaffungskosten (siehe Tabelle 1) bezogen auf die Lebensdauer berechnen. In der Berechnung sind Finanzierungskosten noch gar nicht mit einbezogen. Diese würden die Kosten um einige Prozente erhöhen.

Diese jährlichen Kosten müssen sich nach dem Fördermodell durch eine entsprechende Vergütung der eingespeisten Kilowattstunden finanzieren. Die Kosten des Speichers pro eingespeister Kilowattstunde berechnen sich also aus den jährlichen Kosten bezogen auf die eingespeiste Energie nach Bild 4 (nicht nur auf die durch den Speicher umgesetzte, sondern die Gesamtenergie!). Diese Speicherkosten sind in Bild 5 für ein Einspeiselimit von 30% als Funktion der Speichergröße in Türkis dargestellt.

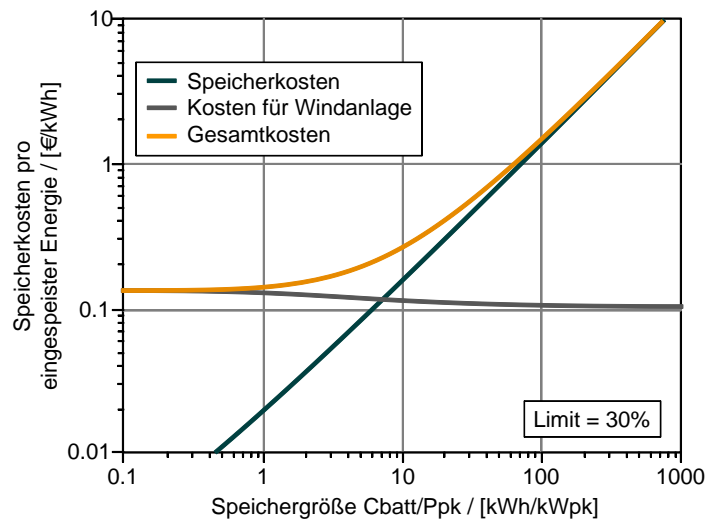


Bild 5: Zusammensetzung der Kosten pro eingespeister Kilowattstunde: Ergibt sich aus den jährlichen Speicherkosten bezogen auf die jährlich eingespeiste Energiemenge sowie den etwas erhöhten Kosten für die Windanlage.

Auch mit einem Speicher geht Windenergie verloren. Wenn weniger eingespeist wird, muss die einzelne Kilowattstunde höher vergütet werden, um eine kostendeckende Vergütung zu erzielen. Das Ergebnis ist für ein Einspeiselimit von 30% in Bild 5 als graue Kurve dargestellt. Vor allem bei kleinen Speichern, wenn viel Energie verloren geht, muss die Kilowattstunde Windstrom stärker vergütet werden.

Die Gesamtkosten für die aus dem Wind-Speicher-System eingespeiste Kilowattstunde ergibt sich aus der Summe der Speicherkosten und den erhöhten Windstromkosten Sie sind ebenfalls für ein 30% Einspeiselimit in Bild 5 (orange) dargestellt. Für andere Einspeiselimits liegen die Kosten in einer ähnlichen Größenordnung.

Für sehr kleine Speicher dominieren die Kosten durch die erhöhten Windstromkosten. Allerdings haben solch kleine Speicher auch nur einen geringen Effekt (siehe Bild 4). Speicher in einer nennenswerten Größenordnung von 100kWh/kWpk, führen zu Kosten in der Größenordnung von 1,50 €/kWh. Das ist mehr als 10-mal so viel, wie eine Kilowattstunde Windstrom ohne Speicher kostet.

Diese Kosten können sich durch Technologieentwicklung reduzieren [2] und sind eigentlich nur als grober Anhaltspunkt zu werten, denn Investitionskosten von 400 €/kWh Speicher sind eher im konservativen Bereich zu sehen.

4. Fazit und Diskussion

Anhand der Untersuchungen kann man zu folgendem Schluss kommen:

Es wäre wünschenswert, die Leistungsabgabe von Windanlagen über das Jahr hinweg zu vergleichmäßigen und dabei eine maximale Einspeiseleistung vorzugeben, um das angeschlossene Stromnetz zu entlasten. Zu diesem Zweck erscheinen Batteriespeicher weniger geeignet. Um bei einer Einspeiselimitierung von 30% der Spitzenleistung die erzeugte Windenergie vollständig nutzen zu können, ist ein Speicher in der Größenordnung von 100 kWh/kWpk notwendig. Das ist etwa 25-mal so viel pro Spitzenleistung („Kilowatt-Peak“) wie bei Photovoltaikanlagen notwendig ist. Der Hauptgrund ist, dass bei Windanlagen die Speicherzyklen viel länger dauern und daher mehr Energie gespeichert werden müsste. Dieser Speicher würde nur mit wenigen Zyklen im Jahr belastet und daher nicht angemessen ausgenutzt und sehr teuer.

Eine Markteinführung von Batteriespeichern für Windanlagen müsste demnach auf anderen Wirkmechanismen basieren. Eine Anwendung könnte darin bestehen, den erzeugten Windstrom zu glätten und berechenbarer zu machen. Wenn z.B. eine Windfront früher als erwartet kommt, könnte der Speicher die Energie zurückhalten, bis sie laut geplantem Fahrplan berücksichtigt ist. Eine zuverlässig vorhersagbare Einspeisung erleichtert den Netzbetreibern den Betrieb und ermöglicht

es, an bisher nicht möglichen Strommärkten teilzunehmen. Beispiele wären Anwendungen auf dem Regelenergiemarkt. Zu diesen Anwendungen müsste jedoch noch ein wirkungsvolles Fördermodell überlegt werden.

Um hingegen eine sinnvolle Nutzung von „gekappter“ Energie möglich machen, sprechen die vergleichsweise großen Zyklen dafür, Technologien zur Langzeitspeicherung zu verwenden. Hier kommen insbesondere die Wasserstoff-Produktion oder das „Power-to-Gas“-Verfahren, bei dem Wasserstoff in Methanol oder Methan umgewandelt wird, in Betracht. Durch Einspeisung in das bestehende Erdgasnetz können Gasspeicher für mehrere Monate genutzt werden. Die Untersuchung zeigt deutlich, dass diese Art der Speicherung aufgrund der langen Zykluszeiten bei der Windenergie sinnvoller im Vergleich zu Batteriespeichern sein dürfte.

5. Referenzen

- [1] Website des Solarenergie-Fördervereins Deutschland e.V. (SFV), Aug. 2012:
http://www.sfv.de/artikel/beitrag_von_photovoltaikanlagen_mit_integrierten_stromspeichern_zur_energiewende.htm
- [2] Dirk Uwe Sauer, “Detailed cost calculations for stationary battery storage systems”, International Renewable Energy Storage Conference (IRES VI), Berlin, 30.11.2011.

6. Vita des Autors

Eberhard Waffenschmidt ist seit September 2011 Professor an der Fachhochschule Köln mit dem Lehrgebiet Elektrische Netze. Vorher war er seit 1995 Wissenschaftler im Forschungslabor der Firma Philips in Aachen, in den letzten Jahren als Senior Scientist. Er ist seit 2005 aktives Mitglied im Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V., seit Anfang 2012 Mitglied bei Eurosolar und Senior Member im IEEE. Kontakt: eberhard.waffenschmidt@fh-koeln.de