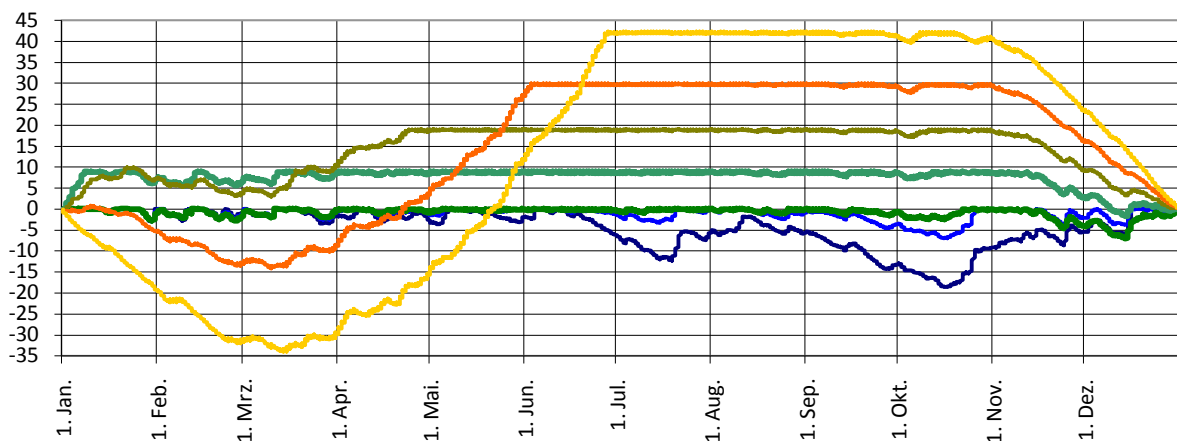


Matthias Popp

Erneuerbare Energien und Speicherbedarf



Kostenoptimierter Mix aus Energiespeichern,
Wind- und Solarkraftanlagen
für eine vollwertige regenerative Stromversorgung

Kontaktadresse:

Matthias Popp

Burgstraße 19

D-95632 Wunsiedel

Tel. 09232/9933-11

Tel. 09232/9933-40

Mail: matthias.popp@t-online.de

<http://www.psp.poppware.de>

Matthias Popp

Erneuerbare Energien und Speicherbedarf

Kostenoptimierter Mix aus Energiespeichern,
Wind- und Solarkraftanlagen
für eine vollwertige regenerative Stromversorgung

1. Auflage

Mit 121 Bildern und 30 Tabellen

Inhalt

Inhalt	6
Vorwort.....	9
Einleitung.....	12
1 Stromnetz, Kraftwerke und Speicher – eine Einführung.....	17
1.1 Energiespeicher für die Stromwirtschaft	22
1.1.1 Funktionsprinzip eines Pumpspeicherkraftwerks	28
1.2 Bewertung gängiger Kraftwerkstypen.....	30
1.2.1 Große Dampfkraftwerke - Kernkraft und Kohle:.....	30
1.2.2 Gas- und Heizölkraftwerke:.....	31
1.2.3 Laufwasserkraftwerke:	31
1.2.4 Windkraftanlagen, ähnlich auch Solarkraft:.....	31
1.3 Effektive Stromerzeugung konventioneller Kraftwerke	34
1.4 Stromwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland	35
2 Stand der Technik.....	42
2.1 Windkraft als Energiequelle.....	46
2.2 Solarkraft als Energiequelle.....	56
2.3 Windkraft über einen längeren Zeitraum	61
2.4 Stromnachfrage	64
3 Szenarien zu Windstrom, Speicherladung und Fremdstrombedarf.....	66
3.1 Grundlastversorgung	67
3.1.1 5-fach installierte Windleistung	67
3.1.2 6-fach installierte Windleistung	69
3.2 Bedarfsorientierte Versorgungsaufgabe	72
3.3 Spitzenlastdeckung als Versorgungsaufgabe.....	75
3.4 Speicher mit begrenzter Kapazität.....	79
4 Windkraftverwendung ohne Speicher	82
4.1 Grundlastversorgung mit 1-fach installierter Windleistung.....	82
4.2 Flächenbedarf für einen Lastausgleich mit nachwachsenden Rohstoffen ...	85
4.2.1 Statistik der Bodenflächen und Nutzungsarten in Deutschland.....	85
4.2.2 Flächenbedarf für Biomasse zur Stromerzeugung.....	86
4.3 Windüberkapazität ohne Speicher.....	89
4.3.1 Grundlast bei 3- und 5-fach installierter Windleistung.....	89
5 Windstromversorgung ohne und <i>mit Energiespeicher</i> im Vergleich.....	93

6	Bedarfsabschätzung für Pumpspeicher	95
6.1	Ausgleich der Ende 2007 installierten Windkraft	95
6.2	Ausgleich einer 100% Versorgung Deutschlands mit Windstrom	96
6.2.1	Pumpspeicher mit 20 Meter Pegelschwankung	99
6.2.2	Pumpspeicher mit 100 Meter Pegelschwankung	100
7	Reduzierung des Speicherbedarfs durch Erzeugungsüberkapazität	102
7.1	Versorgungsaufgabe Grundlast.....	102
7.2	Versorgungsaufgabe Spitzenlastdeckung über der Jahresgrundlast.....	105
7.3	Speicherbedarfsvergleich für Grundlast und Spitzenlast	107
8	Speicherbedarf unter Einbeziehung der Fotovoltaik	110
8.1	Windstrom, Solarstrom und Speicherbedarf bei konstanter Last.....	110
8.1.1	idealer Speicher mit 100% Wirkungsgrad	110
8.1.2	Speicher mit 80% Wirkungsgrad	113
8.1.3	Speicherbedarf bei Erzeugungsüberkapazität	114
8.2	Windstrom, Solarstrom und Speicherbedarf bei bedarfsorientierter Last ...	117
8.3	Windstrom, Solarstrom und Speicherbedarf zur Deckung von Spitzenlast.	120
8.4	Bewertung der verschiedenen Lastfälle.....	122
9	Weiterführende Überlegung zum Ausgleich Erneuerbarer Energien	126
9.1	Erwartungen an die Zukunft.....	130
9.2	Beispiel für die Ermittlung von Speicherladungskurven.....	132
9.3	Kontinente übergreifende Vernetzung und Versorgungssicherheit.....	138
10	Energiespeicher im Umfeld von Windenergieanlagen	140
10.1	Kegelring-Energiespeicher	142
10.1.1	auf dem flachen Land	142
10.1.2	Energiespeicher im Meer	147
10.1.3	Energiespeicher als Folge von Tagebau	149
10.1.4	Kegelringspeicher im Vergleich zu Gebirgsspeichern.....	150
11	Abstimmung von Speichergröße und Erzeugungsüberkapazität	152
11.1	Abschätzung der Kosten von Windkraft und Speicherkapazität	154
12	Energiespeicher in Gebirgslagen	157
12.1	Das „Wunsiedler See“ Projekt	158
13	Verwendung anderer Speichertechnologien	165
13.1	Druckluftkavernen	165
13.2	Wasserstofftechnologie	166

13.3	Chemische Speicher	169
14	Speicherbedarfsausgleich der Windkraft durch Fotovoltaik	172
14.1	Speicherbedarf, Erzeugungskapazität und Investitionskosten	177
14.1.1	Versorgung mit Grundlast.....	177
14.1.2	Versorgung mit bedarfsangepasster Last.....	184
15	Abschätzung der Stromkosten Erneuerbarer Energie	193
15.1	Stromkosten bedarfsgerecht abrufbarer Erneuerbarer Energie	193
15.2	Kosten verschiedener Kraftwerkstypen im Vergleich	197
16	Stromwirtschaft im Kontext des Gesamtenergiebedarfs	200
17	Abschließende Bewertung.....	205
17.1	Zentrale Sätze aus den einzelnen Kapiteln dieses Buches.....	205
17.2	Schlussfolgerungen.....	208

Vorwort

Ausgelöst durch den vom Autor eingebrachten Vorschlag, im Fichtelgebirge bei Wunsiedel einen Pumpspeicher zu errichten¹, der in der größten vorgeschlagenen Variante der leistungstärkste seiner Art in Europa sein könnte, ergaben sich unter anderem folgende Fragen:

1. Wie müsste ein Pumpspeicher dimensioniert sein, damit er nachhaltig einen Beitrag zum Ausgleich von Windkraft liefern kann?
2. Wie viel Speicher wäre für Deutschland erforderlich und sinnvoll, um die Ausbauziele Erneuerbarer Energien abzusichern?
3. Könnten Speicher, die auf den Ausgleich Erneuerbarer Energien ausgelegt sind, wirtschaftlich sein?
4. Gibt es objektive, auch Vertretern des Naturschutzes vermittelbare Kriterien, die den erforderlichen Eingriff in eine gewachsene Kultur- und Naturlandschaft rechtfertigen?

Ein Ziel der Studie war die Klärung der Frage ob und unter welchen Voraussetzungen eine vollwertige elektrische Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland allein mit Erneuerbarer Energie möglich wäre.

Das Ergebnis all dieser spannenden Recherchen ist hier zusammengefasst.

Danksagungen:

Tipps, um an Daten zu gelangen, die diese Untersuchungen ermöglichten, erfolgten durch Herrn Thorsten Dietz, von der E.ON Netz GmbH, Bayreuth.

Eine sehr große Hilfe waren die Daten und Hinweise, die Herr Dipl.-Ing. Berthold Hahn, Leiter Windenergienutzung vom Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V. an der Universität Kassel und dem Physikalischen Institut der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg zugänglich machte.

Vom Statistischen Bundesamt in Wiesbaden unterstützte Herr Jörg Kaiser die Studie mit den Monatsberichten zur Elektrizitätsversorgung.

¹ Freizeitsee und Pumpspeicherprojekt „Wunsiedler See“ und „Burgsteinsee“. Näheres dazu im Internet unter www.psp.poppware.de

Einleitung

Erneuerbare Energien aus Wind und Sonne könnten die vollwertige Stromversorgung einer Volkswirtschaft ermöglichen, so dass elektrische Leistung jederzeit bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden kann.

Sie verursachen keine Kosten für Energierohstoffe, verändern nicht die Zusammensetzung der Atmosphäre durch Klimagase, setzen keine Schadstoffe frei und bürden nachfolgenden Generationen keine Gefahrenpotentiale und ungelöste Entsorgungsfragen für Spaltprodukte aus Kernkraftwerken auf.

Energierohstoffe sind z.B. Uran, Kohle, Öl, Gas und nachwachsende Rohstoffe wie Holz, Raps, Mais usw. die zur Gewinnung von Strom und/oder Wärme eingesetzt werden.

Klimagase können durch ihren Eintrag in die Atmosphäre klimaverändernde Wirkung entfalten. Die größte und am leichtesten nachvollziehbare Wirkung dürfte Wasserdampf (H₂O) haben. Alle Verbrennungsvorgänge, an denen Wasserstoff beteiligt ist, emittieren gasförmiges Wasser in die Atmosphäre. Dazu zählen z.B. die Verbrennung von Holz, Öl, Gas und Wasserstoff. Wolkenbildung, z.B. durch Kondensstreifen von Flugzeugen, verändert sofort und unmittelbar die Sonneneinstrahlung auf die Erde und die Abstrahlung der Erdwärme ins Weltall. Der natürliche Wasserkreislauf durch Verdunstung der Ozeane und der Niederschläge mit Wolkenbildung und Regen haben einen Haupteinfluss auf das Wetter und die Temperaturen auf der Erde.

Dem unsichtbaren CO₂ wird ebenfalls ein Treibhaus-Effekt zugeschrieben, weil auch damit die Abstrahlung der Erdwärme ins Weltall vermindert wird.

Abschmelzen von Gletschern, Meeresspiegelanstieg, Zunahme von Extremwetter-Ereignissen sind einige Folgen einer Klimaerwärmung.

Zu den Schadstoffen zählen Feinstäube, Ruß, Stickoxide, Schwefel, Kohlenmonoxid und weitere giftige Gase und Substanzen, welche die Umgebungsluft belasten, sauren Regen verursachen und/oder zu einer Schädigung von Menschen, Flora, Fauna oder von Bausubstanz führen können.

Radioaktiver Fallout nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl kontaminierte große Teile Europas. Ein mehrere hundert Quadratkilometer umfassendes Gebiet um das havarierte Atomkraftwerk wird auf sehr lange Zeit eine Sperrzone bleiben müssen. Trotz viel höherer Sicherheit der heutigen, westlichen Standards entsprechenden Kernkraftwerke und einer verschwindend geringen Wahrscheinlichkeit der Wiederholung eines derartigen GAUs (größter anzunehmender Unfall) wird der Kernkraft in großen Teilen der Bevölkerung erhebliches Misstrauen entgegengesetzt.

Wegen Widerständen aus der Bevölkerung erscheint es derzeit an keiner Stelle Deutschlands vermittelbar, ein auf Dauer angelegtes Endlager für abgebrannte Kernbrennstoffe zu errichten.

Bei all dem schaffen Erneuerbare Energien Wertschöpfungskreisläufe und damit Arbeit im eigenen Land.

Eine der Voraussetzungen dafür sind Energiespeicher, die über einen längeren Zeitraum die Erzeugungs- und Bedarfsschwankungen ausgleichen.

Der Flächenbedarf einer vollständigen erneuerbaren Energieversorgung, basierend auf Windkraft, Fotovoltaik und Pumpspeichern, ist ein Bruchteil von dem, was nachwachsende Rohstoffe beanspruchen würden.

Weniger als ein Prozent der Landesfläche würden für Pumpspeicher benötigt und auf sechs Prozent der Landesfläche müssten in einem 500 Meter Raster Windkraftanlagen installiert werden, um eine nachhaltige Vollversorgung mit Strom zu gewährleisten. Landwirtschaft kann in diesen Gebieten uneingeschränkt weiter betrieben werden. Nachwachsende Rohstoffe würden im Vergleich dazu weit mehr als 50% der Landesfläche beanspruchen.

Werden Windkraftanlagen und Energiespeicher ins Meer verlagert, dann reduziert sich der Landverbrauch weiter.

Die hier vorgelegte Untersuchung gibt Hinweise, dass die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft beim Umbau auf Erneuerbare Energien erhalten und auf Dauer verbessert werden kann.

Grundlage der Untersuchung sind mehrjährige Aufzeichnungen der stündlichen Windkrafteinspeisung ins deutsche Stromnetz und entsprechende Aufzeichnungen für die Fotovoltaik aus dem Jahr 2005. Auf Basis dieser Daten wurde unter Berücksichtigung zahlreicher Varianten der erforderliche Speicherbedarf ermittelt.

Abschließend werden Entwicklungskorridore aufgezeigt, welche einen kostenoptimierten Weg zu einer nachhaltigen, emissionsfreien und erneuerbaren Stromwirtschaft ermöglichen.

Strom aus Wind und Sonne unterscheidet sich von dem aus anderen Kraftwerken, weil er nicht dann zur Verfügung steht, wenn er gebraucht wird, sondern dann, wenn der Wind bläst oder die Sonne scheint. Da Strom nicht im Leitungsnetz gespeichert werden kann, sondern immer zeitgleich mit dem Verbrauch produziert werden muss, stellt das die Stromwirtschaft vor die Herausforderung, dass ein ständiger Ausgleich hergestellt werden muss, zwischen einer Stromerzeugung, die so launig ist, wie das Wetter und dem Bedarf den die Verbraucher vorgeben.

Eine gute Möglichkeit, diesen Ausgleich herbeizuführen wird durch Energiespeicher ermöglicht. Diese stehen aber zum heutigen Zeitpunkt bei Weitem nicht in dem Umfang zur Verfügung, wie es in Zukunft erforderlich sein wird. Die Notwendigkeit dafür gilt in Fachkreisen als unumstritten. Über das „Wie“ gibt es viele Diskussionen. Von einem Fahrplan in die Zukunft sind wir in dieser Frage jedoch weit entfernt.

Dieses Buch wendet sich daher gleichermaßen an Forschung und Lehre, Politik und Verbände und an eine interessierte Bürgerschaft. Es stellt Lösungsansätze in den Raum, wie dieses Ziel erreicht werden könnte. Dabei wird auf die Begrenzung der Kosten, auf sorgsamem Umgang mit den Landesflächen und auf die Sicherheit der Versorgung großer Wert gelegt.

Es soll damit für Forschung, Politik und Öffentlichkeit eine neue Sichtweise auf diesen Themenkomplex vorgestellt werden. Das Buch soll zu Forschungsanstrengungen an den Stellen motivieren, die auf Basis derzeitiger Kenntnisse nicht abschließend bewertet werden konnten. Es soll damit eine Diskussion in Politik und Medien in Gang gesetzt werden, die in der Öffentlichkeit Verständnis für die Energiefragen unserer Zukunft schafft und uns auf dem Weg zu einer Erneuerbaren Energieversorgung vorwärts bringt.

Nach einer allgemeinen Einführung in die Stromwirtschaft beschreibt das Buch zunächst die Charakteristik der Stromeinspeisung aus Wind und Sonne und vergleicht diese mit der Stromnachfrage.

Anschließend wird aufgezeigt, wie viel Speicher benötigt wird, um volatilen, also unbeständigen und wechselhaften Windstrom auszugleichen. Grundlage dafür sind die konkreten Werte der Windstromeinspeisung in Deutschland während der Jahre 2005 bis 2008.

Ein weiteres Kapitel untersucht, wie eine Stromversorgung ohne nennenswerten Einsatz von Speichern auf der Basis Erneuerbarer Energien beschaffen sein müsste, wenn diese ohne Strom aus Kernkraft und fossilen Energieträgern auskommen soll.

Zur Veranschaulichung der Dimension und um ein Gespür für die Größenordnung des Energie- und Ausgleichsbedarf der deutschen Stromwirtschaft zu vermitteln, wird der Flächenbedarf für eine Stromversorgung mit Windkraftanlagen und Pumpspeichern verglichen mit dem einer Stromversorgung auf Basis nachwachsender Rohstoffe.

Anschließend wird der Frage nachgegangen, wie sich der Speicherbedarf reduziert, wenn mehr Windkraftanlagen aufgestellt werden, als zur Deckung des Langzeit-Durchschnittsbedarfs erforderlich wären.

Ein weiteres Kapitel widmet sich der Frage, wie eine Kombination aus Windkraft und Fotovoltaik den Speicherbedarf beeinflusst. Auf Basis konkreter Daten des Jahres 2005 konnte festgestellt werden, dass sich Wind und Sonne in erheblichem Umfang ausgleichen und zu einer deutlichen Reduzierung des Speicherbedarfs führen können.

Sodann wird diskutiert, ob durch den Ausbau der Offshore Windkraft und durch kontinentale Vernetzung von Winderntegebieten ein gegenseitiger Ausgleich von Einspeiseschwankungen erfolgen kann. Als geeignetes Instrument für eine objektive Beurteilung wird dazu die „Speicherladungskurve“ vorgeschlagen.

Mit dem „Kegelring-Energiespeicher“ wird ein Pumpspeicher für das flache Land und für Offshore-Bereiche vorgestellt, der um Größenordnungen höhere Kapazität aufweisen würde, als die derzeit größten Anlagen in den Mittelgebirgen.

Andere Speichertechnologien die ebenfalls für große Energiemengen geeignet sind, werden mit Pumpspeichern verglichen und deren Eignung für den Ausgleich fluktuierender Erzeugungstechniken bewertet.

Eine Erneuerbare Energieversorgung, die ohne Fremdenergie aus fossilen und radioaktiven Quellen auskommt, kann auf unterschiedliche Weise erreicht werden. Kombinationen aus Speicherkapazitäten und -Techniken mit verschiedenen Anteilen von Windkraft und Solarkraft werden systematisch untersucht und kostenoptimierte Korridore für eine vollwertige Stromversorgung aufgezeigt.

Die Kapitalkosten für bedarfsgerecht verfügbaren Strom aus Erneuerbarer Energie werden mit den Kosten zur Stromerzeugung durch konventionelle Kraftwerke verglichen und festgestellt, dass es auf Dauer volkswirtschaftlich günstiger sein müsste, Speicherkapazitäten zu schaffen, als zum Ausgleich der Windkraft einen fossil betrieben, bedarfsgerecht steuerbaren, komplementären Kraftwerkspark zu errichten.

Abschließend wird die Erneuerbare Stromwirtschaft in einen Gesamtzusammenhang der Energiewirtschaft mit Wärme- und Kraftstoffbedarf gestellt.

Erzeugungsleistungen über den Strombedarf hinaus, welche den Bedarf an Speicherkapazität zum Ausgleich der Einspeiseschwankungen reduzieren, können durch Produktion von Wasserstoff als Kraftstoff für die Fahrzeugflotte abgesetzt werden.

Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass eine vollwertige bedarfsgerechte Erneuerbare Stromversorgung mit Wind und Sonne möglich ist, wenn dazu die erforderlichen Speicher geschaffen werden können. Die Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaft dürfte dabei erhalten bleiben und sich auf Dauer sogar verbessern.

Dafür ist eine systematische Suche und Analyse geeigneter Speicherstandorte erforderlich. Die Politik kann dazu für eine neue Balance der Rahmenbedingungen zur Genehmigung von Energiespeichern in der Abwägung zu anderen Rechtsgütern wie Natur und Landschaftsschutz sorgen und diese angemessen im Erneuerbare Energie Gesetz berücksichtigen.

5 Windstromversorgung ohne und *mit Energiespeicher* im Vergleich

installierte Windleistung	Energie Liefervermögen	Beitrag zur Versorgungsaufgabe	Zuwachs des Versorgungsanteils	Fremdstrombedarf	Überproduktion / ungenutzte Kapazität	<i>nutzbarer Anteil der Windüberproduktion und Versorgungspotential bei einem Speicherwirkungsgrad von</i>					
						80%		50%		20%	
1-fach	19%	19%		81%	0%	0%	19%	0%	19%	0%	19%
2-fach	38%	36%	16%	64%	3%	2%	38%	1%	37%	1%	36%
3-fach	58%	47%	11%	53%	11%	9%	55%	5%	52%	2%	49%
4-fach	77%	55%	8%	45%	22%	18%	72%	11%	66%	4%	59%
5-fach	96%	61%	6%	39%	35%	28%	89%	17%	78%	7%	68%
6-fach	115%	66%	5%	34%	49%	39%	105%	25%	91%	10%	76%
7-fach	134%	70%	4%	30%	65%	52%	122%	32%	102%	13%	83%
8-fach	154%	73%	3%	27%	80%	64%	138%	40%	113%	16%	89%
10-fach	192%	78%	5%	22%	114%	91%	169%	57%	135%	23%	101%

Tabelle 5.1: Fremdstrombedarf in Abhängigkeit der installierten Windleistung. Das Versorgungspotential (rechte Spalte unter den Speicherwirkungsgraden), gibt an, welchen Anteil der Stromversorgung die Windkraft in Kombination mit dem Speichereinsatz liefern kann. Dies ist in Vergleich zu sehen, mit Spalte drei, welche die Möglichkeiten der Windkraft ohne den Einsatz von Energiespeichern wiedergibt. Die angegebenen Speicherwirkungsgrade verkörpern unterschiedliche Speichertechnologien: Pumpspeicher (bis zu 80%), Druckluftkavernen (ca. 50%), Wasserstofftechnologie (ca. 20% bis 40%). (Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Daten des ISET)

Daraus ergäbe sich für Deutschland der in Tabelle 6.4 ermittelte Volumenbedarf für Pumpspeicher:

Höhen- differenz		erforderliches Volumen zur Speicherung des deutschen Stromverbrauchs für								
		1	2	5	10	20	50	100	200	Tage
100	m	6,4	13	32	64	128	321	642	1284	km ³
200	m	3,2	6,4	16	32	64,2	160	321	642	km ³
300	m	2,1	4,3	11	21	42,8	107	214	428	km ³
400	m	1,6	3,2	8	16	32,1	80	160	321	km ³
500	m	1,3	2,6	6,4	13	25,7	64	128	257	km ³
600	m	1,1	2,1	5,3	11	21,4	54	107	214	km ³
800	m	0,80	1,6	4	8	16	40	80	160	km ³
1000	m	0,64	1,3	3,2	6,4	12,8	32	64	128	km ³

*Tabelle 6.4:
Volumenbedarf für
Pumpspeicher zum
Ausgleich von
Windstrom bei einer
vollständigen
Versorgung von
Deutschland.*

17 Abschließende Bewertung

17.1 Zentrale Sätze aus den einzelnen Kapiteln dieses Buches

- Schon ab dem Jahr 2020 ist damit zu rechnen, dass es nicht mehr ausreichen wird, die anderen Kraftwerke herunterzufahren, wenn keine Speicher da sind, die über den Bedarf produzierten Windstrom nicht nur für einige Stunden aufnehmen können.
- Stand 31. Dezember 2007 sind in Deutschland weit über 22.000 Megawatt an Windkraftleistung installiert. Diese installierte Leistung übertrifft die der Kernkraftwerke von ca. 21.500 MW und die der Braunkohlekraftwerke von ca. 21.800 MW.
- Die langjährigen Aufzeichnungen in Deutschland zeigen, dass ca. 20% der installierten Windleistung im Durchschnitt eingespeist wird. Das bedeutet, um eine Stromversorgungsaufgabe mit Windstrom zu erfüllen, müsste ca. die 5-fache Erzeugungsleistung installiert werden, als im Langzeit-Durchschnitt abgenommen wird. Gleichzeitig müssten verlustarme Speicher vorhanden sein, welche die temporäre Überproduktion aufnehmen und dann zurückspeisen, wenn zu wenig Windstrom anliegt.
- Die Aufzeichnungen der Fotovoltaik des Jahres 2005 in Deutschland zeigen, dass ca. 10% der installierten Peak-Leistung im Durchschnitt eingespeist wird.
- Zum Ausgleich von Windenergie, mit einer installierten Leistung für die im Langzeit-Durchschnitt erforderliche Strommenge und einer zusätzlich ca. 15%igen Reserve, wäre bei Speichern mit ca. 80% Wirkungsgrad eine Kapazität von ca. 100 Tage erforderlich. Ohne Speicher könnte damit, wegen der Flautezeiten nur ca. 2/3 des Bedarfs gedeckt werden, 1/3 müsste durch jederzeit abrufbare Energiequellen ersetzt werden. Eine Windstrommenge, welche ca. die Hälfte des Bedarfs decken könnte, bliebe ungenutzt oder wäre als Überproduktion zu verwerten.
- Die Fläche der Bundesrepublik Deutschland würde nicht ausreichen, um den Energiebedarf des Landes mit Biomasse abzudecken.
- Selbst wenn Windkraft für das doppelte Energieliefervermögen als benötigt, vorgehalten würde, im Vergleich zur durchschnittlichen Versorgungsleistung müsste man dafür die über 10-fache Windleistung installieren, wären ohne

Speichereinsatz immer noch ca. 20% des Bedarfs aus anderen, jederzeit abrufbaren Energiequellen zuzuführen.

- Der Flächenbedarf zum Ausgleich der Flauten von Wind und Sonne mit Pumpspeichern ist ein Bruchteil von dem, was für den Anbau nachwachsender Rohstoffe notwendig wäre.
- Die Schaffung zusätzlicher Erzeugungsleistung aus Windkraftanlagen oberhalb des mindestens erforderlichen Langzeit-Durchschnittsbedarfs führt zunächst zu einer signifikanten Reduzierung der notwendigen Speicherkapazität zum Ausgleich stark schwankender Stromeinspeisung. Mit zunehmender Bereitstellung von Überleistung nimmt dieser Reduktionseffekt auf die erforderliche Speicherkapazität deutlich ab.
- Das Jahr 2005 zeigt eindrucksvoll, dass die Energielieferung aus Wind und Sonne zusammen der Jahreszeit folgten und eine Form praktisch immer zur Verfügung stand. Wenn kein Wind wehte, schien die Sonne, wenn keine Sonne schien, blies der Wind, der Mix aus beiden folgte der Jahreszeit.
- Durch einen geeigneten, auf die Versorgungsaufgabe abgestimmten Mix, aus Anteilen von Windkraft und Solarkraft, kann der Speicherbedarf zum Ausgleich der Einspeiseschwankungen dieser Energieformen erheblich reduziert werden.
- Speicherladungskurven erlauben die Beurteilung der Ausgleichswirkung von Potentialen volatiler Energien aus verschiedenen Regionen und Erzeugungsformen. Damit kann z.B. beurteilt werden, welcher Ausgleichseffekt durch eine kontinentale Vernetzung von „Winderntegebieten“ und Energieformen zu erwarten ist oder ob Offshore Windparks ausgleichend auf die Windkraft an Land wirken, so dass sich die notwendige Speicherkapazität für den erforderlichen vollständigen Abgleich von Stromerzeugung und Stromnachfrage reduziert.
- Erfolgt die Stromversorgung maßgeblich mit Windkraft und soll diese nicht in hohem Maße ungenutzt bleiben, dann sind für Windenergie Stromnetze mit der sechs- oder noch höher-fachen Übertragungsleistung als für die Versorgung der Verbraucher erforderlich, die entweder zum Ausgleich über kontinentale Entfernungen oder bis zum zugeordneten Speicher gehen.

- Daraus folgt die Überlegung, künstliche Landschaften, die sich als Energiespeicher eignen, dort zu errichten, wo der Wind geerntet wird.
- Als einfachste Form bietet sich ein Kegerring mit zentralem Oberbecken und einer darum angeordneten Ringfläche als Unterbecken an. Bei Offshore Pumpspeichieranlagen bietet sich auch die Umkehrung, mit abgesenktem Innenbecken an.
- Das Bauvolumen von Kegerringspeichern im flachen Land ist in Bezug auf die gespeicherte Energiemenge in der gleichen Größenordnung wie bei Pumpspeichern in den Mittelgebirgen, jedoch bei einer ca. 1000-fachen Kapazität.
- Die Kosten derartiger Energiespeicher dürften nach überschlägigen Berechnungen in der Größenordnung der Kosten der Windkraftanlagen liegen, die damit ausgeglichen werden.
- Zur Schaffung weiterer Pumpspeicher in den Gebirgen ist eine neue Balance zwischen Rechtsgütern für den kleinräumigen Natur- und Landschaftsschutz und der Energiewirtschaft erforderlich, um Klimaschutz und Einsatz Erneuerbare Energien bei Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit, geringem Landverbrauch und Verzicht auf fossile Energieträger zu ermöglichen.
- Andere Speichertechnologien als die bewährte Pumpspeichertechnik erfordern wegen niedrigerer Wirkungsgrade die Installation von zusätzlichen Windkraftanlagen oder sie weisen bei vergleichbar guten Wirkungsgraden signifikant höhere Investitionskosten auf.
- Bei den im Jahr 2009 üblichen Gestehungskosten sind die Gesamt-Investitionskosten für eine bedarfsangepasste Stromversorgung aus einer Kombination von Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeichern bei Pumpspeichern am niedrigsten, wenn die installierte Windleistung den Langzeit-Durchschnittsbedarf etwas übersteigt. Verwendet man hochpreisige Speicher, z.B. Batterien, die auch für Elektroautos einsetzbar sind, dann kann das deutlich höher liegende Kostenoptimum durch Einsatz eines gewissen Anteils von Fotovoltaik erreicht werden.

- In Summe ist der heute praktizierte Ausgleich von Erzeugungsschwankungen weder nachhaltig noch dürfte er, auf Dauer gesehen, kostengünstiger sein, als ein systematischer Aufbau von Energiespeichern.
- Eine Veredelung des Windstroms mittels Speichern böte die nachhaltige und klimaneutrale Möglichkeit alle Lastschwankungen im Stromnetz auszugleichen und insbesondere auch den am freien Markt gut bezahlten Spitzenstrom zu liefern.
- Die Stabilität kleinerer Netze aus volatilen Erzeugungseinheiten, Stromspeichern und der Fähigkeit, aus den Stromüberschüssen speicherbare Energieträger für den Fahrzeug- und Wärmesektor zu produzieren, wäre erheblich höher, als eine Abhängigkeit von der dauerhaft zuverlässigen Funktion kontinentaler Hochspannungsleitungen, von deren Aufrüstung ein Ausgleich der schwankenden Einspeisung von Wind- und Solarstrom erwartet wird.

17.2 Schlussfolgerungen

Zur weiteren Bestimmung des Zielkorridors mit dem Gesetze und Förderkulissen zum Aufbau einer vollwertigen regenerativen Stromversorgung beitragen können, ist es wichtig, das Potential geeigneter Energiespeicherstandorte, welche dem Land zur Verfügung stehen, bzw. erschlossen werden können, zu kennen bzw. zu ermitteln.

Auf Basis einer solchen Analyse könnten Aufwand und Kosten abgeschätzt werden, die für die Errichtung von Energiespeichern zu erwarten sind. Die Speicherkapazitätskosten ließen sich damit weiter eingrenzen.

Die Bewertung eines konkreten Standortes oder Speicherprojektvorschlags könnte dadurch mit objektiven, an volkswirtschaftlichen Zielen orientierten Kriterien, erfolgen.

Schließlich können damit Ausbauziele definiert werden, die eine vollwertige regenerative Stromversorgung zum Ziel haben.

Die Mittel zur Förderung regenerativer Energien ließen sich auf diese Weise so konzentrieren, dass teure Entwicklungen vermieden werden, die zu einer Beeinträchtigung der Konkurrenzfähigkeit einer Volkswirtschaft führen könnten.

Sollte sich herausstellen, dass unser Land über genügend geeignete Speicherstandorte verfügt, an denen die Kapazität für weniger als ca. 20 €/kWh bereitgestellt werden kann, dann sollte sehr genau überlegt werden, worauf sich Förderkulissen, Genehmigungsrecht und politischer Wille konzentrieren, um an das Ziel einer Erneuerbaren Energieversorgung zu gelangen.

Auch würde man erkennen können, ob es für unsere deutsche Volkswirtschaft zielführend und kostengünstig wäre, Energiespeicher in die EEG-Förderung⁵⁶ aufzunehmen.

Wunsiedel, im Sommer 2009

Matthias Popp

⁵⁶ EEG: Erneuerbare Energie Gesetz

Der Autor, Matthias Popp, Jahrgang 1958, stammt aus dem bayerischen Wunsiedel im Fichtelgebirge.

Er studierte von 1979 bis 1983 an der FH Coburg Maschinenbau. Bereits während dieses Studiums machte er sich selbständig. In seinem Ingenieurbüro entstanden in der Anfangsphase Konstruktionen und Software für Prüfstände namhafter Automobilzulieferer.

Von 1983 bis 1989 studierte er parallel zu seiner selbständigen Tätigkeit Maschinenbau an der TU München. In einer theoretischen Semesterarbeit beschäftigte er sich mit Pumpturbinen, dem zentralen Bauelement von Pumpspeicherkraftwerken. Mit seinem Ingenieurbüro entwickelt er unter Anderem Softwarewerkzeuge für die Automobilindustrie zur Auslegung und Optimierung von Automatikgetrieben und für das Management der damit verbundenen umfangreichen Datenmengen.

Von 2002 bis 2008 war er ehrenamtlicher Zweiter Bürgermeister seiner Heimatstadt Wunsiedel. Als stellvertretender Aufsichtsratsvorsitzender des dortigen regionalen Energieversorgers setzte er sich intensiv mit Fragen der Energieversorgung auseinander. Im Zuge eines Projektvorschlages für ein Pumpspeicherkraftwerk im Fichtelgebirge suchte er Antworten auf die Frage, wie Energiespeicher einen Beitrag zu einer nachhaltigen regenerativen Stromversorgung leisten können.

Der Autor ist verheiratet und Vater von drei Kindern. Er ist Sportflieger, Mitglied bei Rotary und als Stadtrat politisch engagiert.



ISBN 978-...