

Energieeffizienz von Abfallverbrennungsanlagen im Spannungsfeld der erneuerbaren Energien

Slawomir Rostkowski, Michael Beckmann, Tobias Widder

1	Einleitung	1
2	Energieeffizienz der Abfallverbrennungsanlagen.....	2
3	Einfluss der erneuerbaren Energien (EE) auf die Energieversorgung	3
4	Speicherung von Energie.....	8
4.1	Elektrische Speicher	9
4.2	Power-to-Gas	9
4.3	Druckluftspeicherkraftwerke.....	10
4.4	Thermopotentialspeicher.....	10
4.5	Thermische Speicher	10
5	Betrachtung einer Abfallverbrennungsanlage im Netz mit erneuerbaren Energien	12
5.1	Monitoring mit Online-Bilanzierungsprogrammen	12
5.2	Betriebsartenkonzept	12
5.3	Beispiele zum Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen zur Übernahme von Netzregelungsaufgaben in regionalen Versorgungszellen	15
6	Literaturverzeichnis	17

1 Einleitung

Abfallverbrennungsanlagen sehen sich zunehmend mit den Anforderungen hinsichtlich der Abnahme von thermischer und elektrischer Energie konfrontiert. Dies hängt u.a. mit dem Ausbau der Sonnen- und Windkraftanlagen zusammen. Durch

fluktuierende Einspeisung ergeben sich schwierige Bedingungen. Während bei Kraftwerken weitaus größere Leistungen zur Verfügung stehen, wenn man über Flexibilität spricht, können Abfallverbrennungsanlagen wegen des Entsorgungsauftrages zunächst keine Regelungsaufgaben zur Stabilisierung des Netzes vornehmen. Einerseits stellt sich die Frage, ob die Abfallverbrennungsanlagen wegen der geringen Leistung überhaupt einen Beitrag zur Regelung leisten können. Andererseits besteht die Gefahr, dass bei Netzüberlastungen eine Einspeisung einfach nicht mehr zugelassen wird. Bei der Abgabe der thermischen Energie sind diese Fälle bereits heute an bestimmten Standorten gegeben, wenn eine Gasturbine in Betrieb genommen wird und zur Erzielung des KWK-Bonus die Wärme aus der Gasturbine anstelle der aus einer Abfallverbrennungsanlage genutzt wird. Auch im Hinblick auf die Abnahme der elektrischen Energie könnten sich solche Konsequenzen ergeben, wenn im Zuge des Netzausbaus und der Netzgestaltung auf kleinere regionale Versorgungszellen (z. B. auf kommunaler Ebene) umgestellt werden sollte.

Im folgenden Beitrag wird auf die Entwicklung der erneubaren Energien, die Fluktuation und die Residuallast eingegangen. Danach werden die Möglichkeiten der Energiespeicherung mit Blick auf den Stand der Technik und mögliche Entwicklungspotentiale beschrieben. Vor diesem Hintergrund werden schließlich für Abfallverbrennungsanlagen beispielhaft einige Möglichkeiten zur Übernahme von Netzregelungsaufgaben in regionalen Versorgungsnetzen diskutiert.

2 Energieeffizienz der Abfallverbrennungsanlagen

Zur Bewertung der Energieeffizienz von Abfallverbrennungsanlagen werden aus den Ergebnisgrößen (Output) und aus den Eingangsgrößen (Input) spezifische Kenngrößen und Kennzahlen gebildet. Das können verschiedene Wirkungsgrade, spezifische Additivverbräuche pro Tonne Abfall oder energiebezogene Emissionswerte sein. Grundlegend für die Bildung der Kennwerte sind die Festlegung der Systemgrenzen hinsichtlich der örtlichen und zeitlichen Randbedingungen, sowie schlüssige Bilanzen (s. [1], [2]). Bei der Bewertung der Energieeffizienz spielt nicht nur die technische Möglichkeit der Energieumwandlung und Bereitstellung sondern auch die tatsächliche Abnahme von thermischer und elektrischer Energie eine Rolle. Daher sind Abfallverbrennungsanlagen hinsichtlich

der Bewertung der Energieeffizienz direkt von den äußeren Randbedingungen der Energieabnahme zur Nutzung unmittelbar betroffen.

3 Einfluss der erneuerbaren Energien (EE) auf die Energieversorgung

Der schrittweise Ersatz der fossilen Energieträger (Stein- und Braunkohle, Mineralöl, Erdgas) sowie der Kernenergie durch erneuerbare Energien ist ein Prozess, der seit ca. 20 Jahren andauert. Beim Primärenergieeinsatz ist der erneuerbare Anteil in Deutschland seit dem Jahr 1990 von ca. 1% auf ca. 10,9% im Jahr 2011 gestiegen [3], [4], [5]. Es gibt Perspektiven, die bis zum Jahr 2050 etwa 50% oder sogar Vollversorgung (100%) vorsehen [6], [7] (Abb. 1).

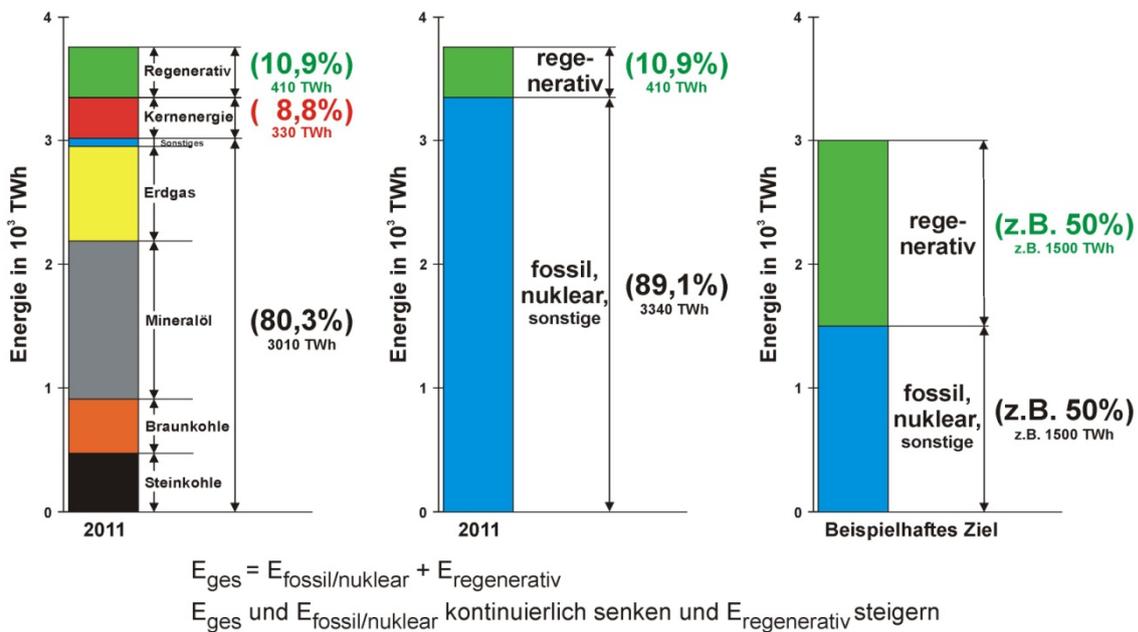
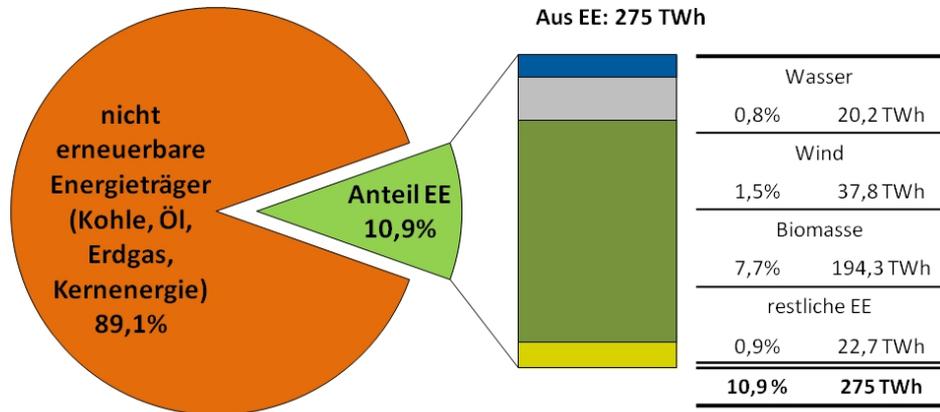


Abbildung 1: Primärenergiebedarf in Deutschland [3]

Die Primärenergie wird aus verschiedenen Energieträgern in Kraftwerken zu elektrischer Energie, in Raffinerien zu Flüssigbrennstoffen und in entsprechenden Aufbereitungsstufen zu Gasbrennstoffen umgewandelt, die den sog. Endenergiebedarf abdecken, der zur Nutzung in allen Bereichen unmittelbar zur Verfügung steht. Abbildung 2 zeigt die Aufteilung der Energien nach aktuellem Stand.

Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland 2010

Gesamtverbrauch: 9.060 PJ (2.517 TWh)



Quelle: BMU - Erneuerbare Energien in Zahlen - Stand Juli 2011

Abbildung 2: Anteil erneuerbarer Energien am Endenergiebedarf [5]

Eine weitere Prognose entwirft der FVEE für den Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttobereitstellung der elektrischen Energie bis zum Jahr 2050 [6] (Abb. 3). Dort wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2050 eine Vollversorgung des elektrischen Endenergiebedarfs in Höhe von 764 TWh_{el,end} pro Jahr zu 80 % aus einheimischen, regenerativen Energiearten und zu 20 % aus möglichst erneuerbaren Importen elektrischer Energie gedeckt sein wird [8].

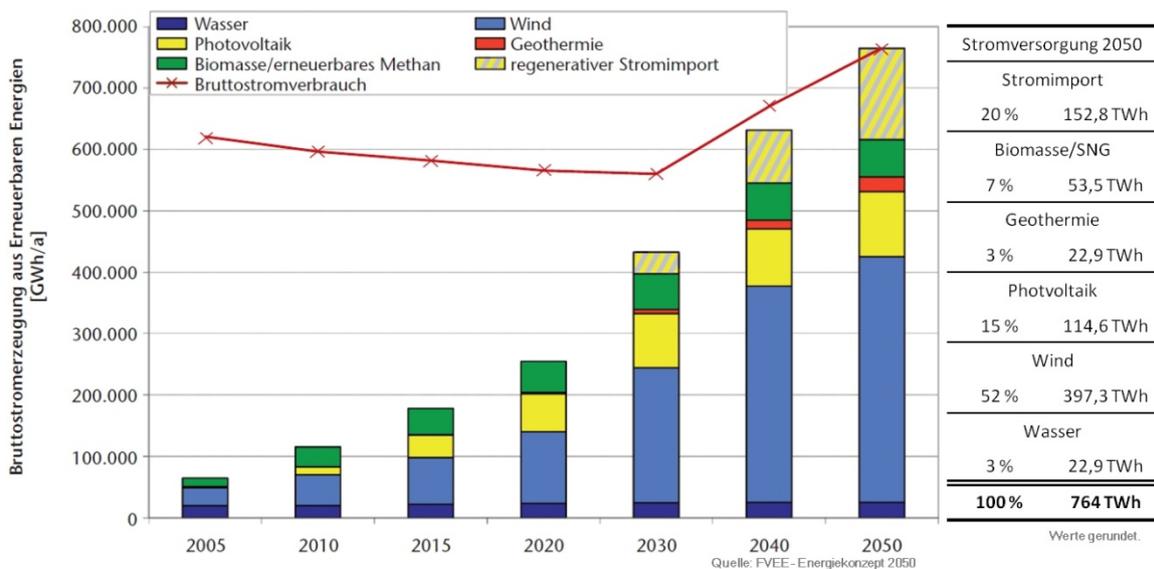


Abbildung 3: Prognose Bruttobereitstellung der elektrischen Energie aus erneuerbaren Energien [6]

Im Jahr 2010 kam es in 44 h zu einer negativen Residuallast, d.h. in dieser kumulierten Zeit überstieg das Angebot an fluktuierender elektrischer Energie die Nachfrage. Die kumulierte Arbeit aus negativer Residuallast betrug 2010 0,26 TWh [9]. Gemessen an der Bruttonutzung der elektrischen Energie 2010 (602,6 TWh, [10]) entspricht dies 0,04 %. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Überschussleistung in diesen 44 h von 5.909 MW. Bezogen auf das gesamte Jahr 2010 (8.760 h) trat der Fall von negativer Residuallast in 0,5 % der Jahresstunden auf. Ausblick 2050: Laut DENA-Endbericht Integration EE wird im Jahr 2050 die Bereitstellung elektrischer Energie aus EE und KWK in 43 % der Jahresstunden mit einer prognostizierten maximalen Überschussleistung von bis zu 70 GW und im Mittel mit rund 18 GW die Nachfrage übersteigen. Dadurch gibt es 2050 einen Überschuss an elektrischer Arbeit, bedingt durch EE, in Höhe von 21 TWh [11].

Zur Veranschaulichung der Residuallast und deren möglicher Entwicklung ist in nachfolgender Abbildung 4 die Residuallast für 2010 in Orange und prognostiziert für 2020 in Grün dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bereits bis 2020 die Schwankungen der Residuallast an Häufigkeit und Ausmaß zunehmen und dass die Residuallast, bedingt durch den laufenden Ausbau EE, häufiger negative Werte annimmt.

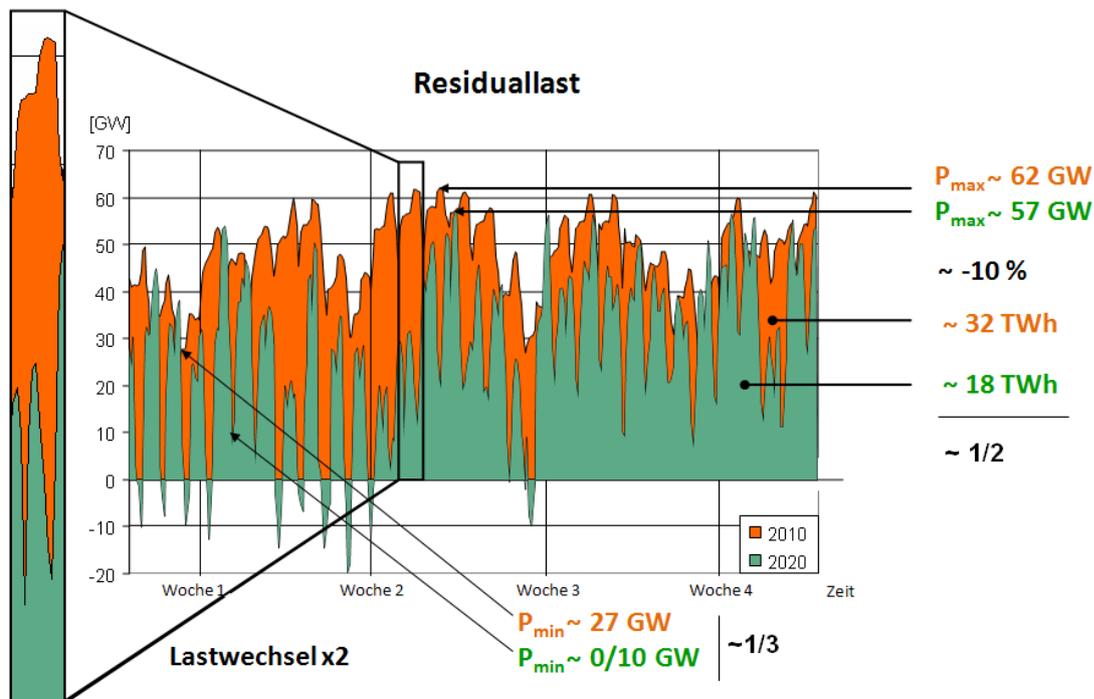


Abbildung 4: Residuallast für 2010 und Prognose für 2020 [12].

Abbildung 5 zeigt die Umwandlung von Wind- und Solarenergie in elektrische Energie für das Jahr 2012 (summiert für die vier Netzbetreiber Amprion, 50 Hertz, TenneT und Transnet BW). Daraus ist die hohe Fluktuation der Leistung ersichtlich.

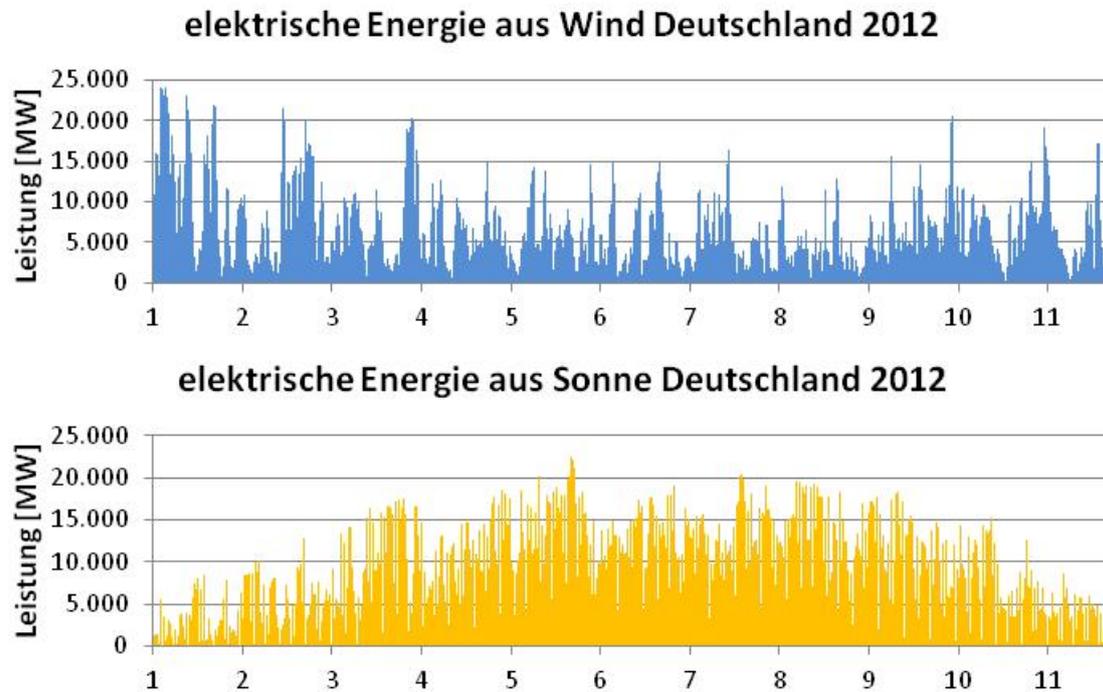


Abbildung 5: Bereitstellung der elektrischen Energie aus Wind und Sonne für das Jahr 2012 in Deutschland [13].

Aus Abbildung 6 für September 2012 ist zu sehen, dass elektrische Energie aus Sonne täglich stets mittags das Maximum erreicht und so mittlerweile die Nachfragespitzen um die Mittagszeit v.a. im Sommer auffängt (engl. Peak shaving). Bei guter Prognose wird so der konventionelle Kraftwerkspark durch elektrische Energie solaren Ursprungs zu Spitzenlastzeiten entlastet. Elektrische Energie aus Windenergieanlagen weist deutlich größere Unregelmäßigkeiten auf, die bisher komplett durch fossile Kraftwerke kompensiert werden müssen. Besonders kritisch für die Versorgungssicherheit ist jedoch der Winter, wenn der Bedarf groß und das Aufkommen an elektrischer Energie aus Wind und Sonne niedrig ist, wie beispielsweise im Februar 2012. Um auch zu solchen Zeiten die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, ist bis auf etwa 1 bis 2 GW die gesamte benötigte Leistung durch nicht fluktuierende Kraftwerke sicher zu stellen. Mit Hilfe von Speichertechnologien kann zukünftig die installierte Leistung des fossilen Kraftwerksparks reduziert werden ohne die Versorgungssicherheit zu beeinträchtigen [13].

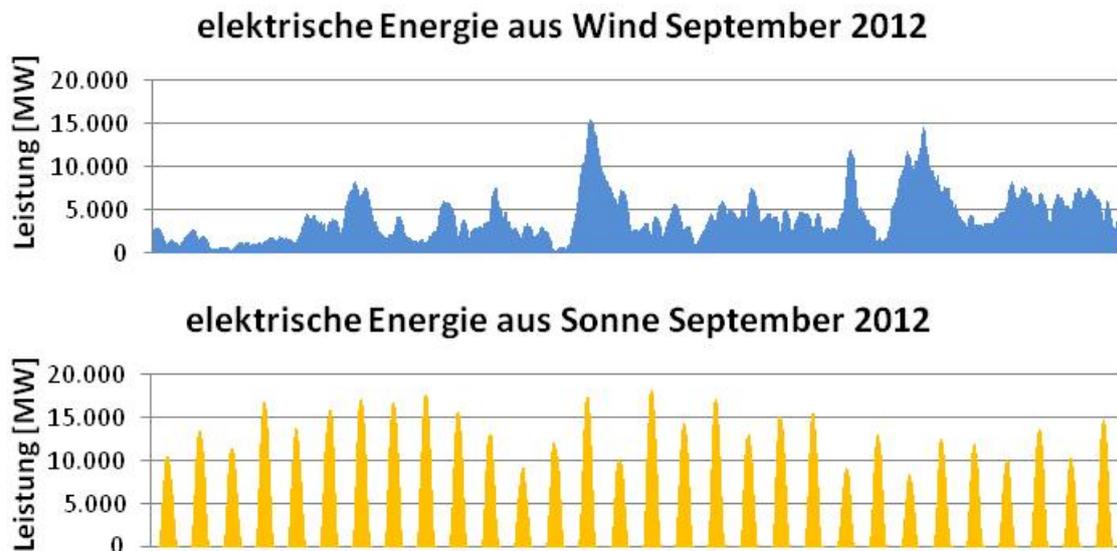


Abbildung 6: Bereitstellung der elektrischen Energie aus Wind und Sonne im September 2012 in Deutschland [13].

Abbildung 7 zeigt beispielhaft den Verlauf von Prognose und Istwerten für die Bereitstellung elektrischer Energie aus Sonne im September 2012 im Netz von Amprion:

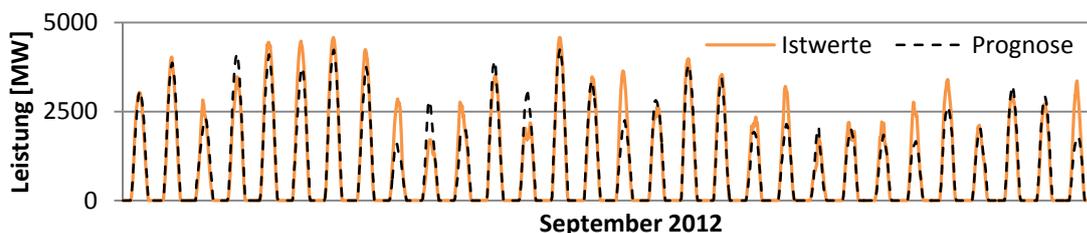


Abbildung 7: Prognose für Bereitstellung der elektrischen Energie aus Sonne und Istwerte im September 2012 im Netz von Amprion [13].

Die Prognoseabweichung als relativer Fehler f zwischen Prognose- und Istwert berechnet sich nach Gleichung 1:

$$f = \frac{\text{Prognosewert} - \text{Istwert (Hochrechnung)}}{\text{Istwert (Hochrechnung)}} \quad (1)$$

Die Fehlerwerte werden in Fehlerklassen, beginnend von -0,95 jeweils in 0,1-Schritten unterteilt und die Anzahl der auftretenden Fehler in der Fehlerklasse summiert, so dass sich die Fehlerhäufigkeitsverteilung ergibt (Abbildung 8).

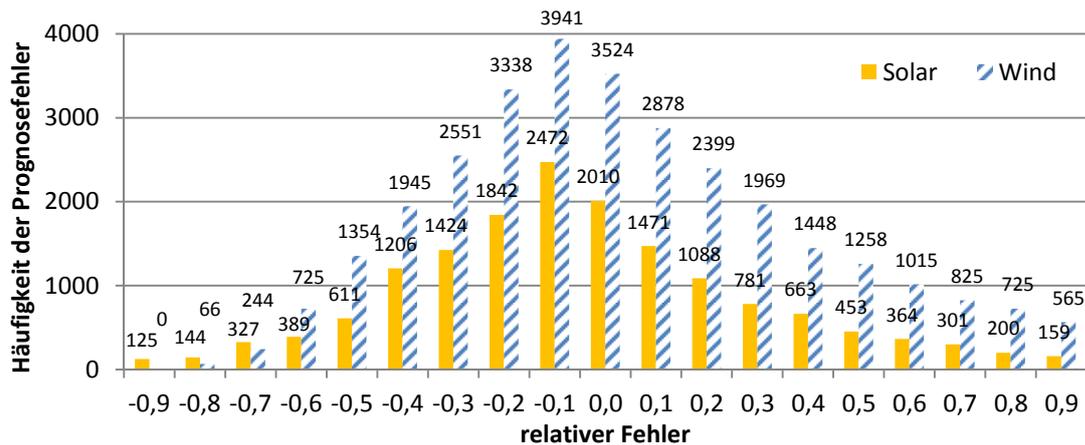


Abbildung 8: Fehlerverteilung für Bereitstellung der elektrischen Solar- und Windenergie 2012 im Netz von Amprion, Daten [13].

Die Ermittlung der Prognosefehler ergibt deutliche Abweichungen zur Realität. Mögliche Verfälschungsursachen sind: Gemeldete Werte von PV-Anlagen beruhen teilweise auf Hochrechnungen und die veröffentlichten Werte werden nach 08:00 Uhr des Vortages nicht mehr an laufende Prognoseänderungen angepasst.

Bisher konnten die Fluktuationen mit Pumpspeicherkraftwerken, Redispatch-Maßnahmen, europaweitem Handel sowie notfalls durch Abschalten von Windkraftwerken ausgeglichen werden. Um die Fluktuationen von Wind und Solar zukünftig ausgleichen zu können sind neben der Vorhersagegenauigkeit die Lastgradienten wichtig. Die größte Laständerung von der elektrischen Windenergie betrug 2012 im Netz von 50 Hertz 67 MW/min. Diese Laständerung ist von Reserve- und/oder Speicherkraftwerken beim Lade- und Entladevorgang bereit zu stellen [13].

4 Speicherung von Energie

Für Ladezeiten im Minuten- bis Stundenbereich eignen sich vor allem Akkumulatoren, Kondensatoren (elektrische Speicher) und Schwunräder. Für die Integration der erneubaren Energien werden vorrangig Langzeitspeicher benötigt, wie z. B. Power-to-Gas, Druckluftspeicherkraftwerke, Thermopotentialspeicher. Das topologische Potential der Pumpspeicherkraftwerke ist in Deutschland fast gänzlich ausgeschöpft. Zum Ausbau der Speicherkapazität kommen folgende Technologien in Frage [13].

4.1 Elektrische Speicher

Die Umwandlung einer Energieform in eine Andere ist technologisch nicht uneingeschränkt realisierbar und dabei stets mit (unterschiedlich großen) Verlusten behaftet, weswegen es wünschenswert ist, dies möglichst von vornherein zu minimieren. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung von Lösungen zur Speicherung von elektrischer Energie in Form von Ladungsträgern (z. B. elektrochemisch in Batterien/Akkumulatoren) zu sehen. Zur Übersicht über den Stand der Technik elektrischer und elektrochemischer Speicher sei auf [14], [15] verwiesen. Die allgemeinen Anforderungen an Energiespeicher werden auch an elektrische Speicher gerichtet und lauten:

- Hohe spezifische Kapazität (Energiedichte)
- Breiter abrufbarer Leistungsbereich
- Geringe Reaktionszeiten bzw. große Lastgradienten
- Niedrige spezifische Kosten
- Geringe Speicherverluste
- Zyklfestigkeit/Lebensdauer (Be- und Entladung)

Während im Bereich der Leistungsabgabe, der Reaktionszeiten/Lastgradienten und der Speicherverluste Batteriespeicher etc. bereits hohen Ansprüchen genügen, stehen die immer noch zu geringen spezifischen Kapazitäten bei gleichzeitig hohen spezifischen Kosten derzeit einem flächendeckenden, großtechnischen Einsatz entgegen. Die Problematik der Speicherwirkungsgrade (direkte und indirekte Speicherung elektrischer Energie) sowie Kapazitäts- und Reichweitenaspekte sind in [13] ausführlich diskutiert.

4.2 Power-to-Gas

Power-to-Gas umfasst die Teilprozesse Elektrolyse von Wasser, Methanisierung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Mit Hilfe des Sabatier-Prozesses kann Wasserstoff in Methan konvertiert werden, welches einen etwa dreimal so hohen Heizwert, bezogen auf das Normvolumen besitzt, wie Wasserstoff. Das so genannte Synthetische Erdgas (SNG=Synthetic Natural Gas) kann in das Erdgasnetz eingespeist werden. Der Entladevorgang (Gas-to-Power) erfolgt konventionell z.B.

mittels eines Gas- und Dampfkraftwerkes zurück zur elektrischen Energie. Die Speicherkapazität des deutschen Erdgasnetzes mit angeschlossenen Kavernen liegt bei rund 20% des Erdgasjahresverbrauchs. Deshalb ist diese Speichertechnologie eine der vielversprechendsten für die Langzeitspeicherung. Bisher befindet sie sich noch in Entwicklung.

4.3 Druckluftspeicherkraftwerke

In Druckluftspeicherkraftwerken (engl. Compressed Air Energy Storage = CAES) wird die zu speichernde Energie zum Verdichten der Luft genutzt. Während des Entladevorgangs wird die verdichtete Luft in einer Gasturbine entspannt. In einem diabaten Prozess wird die nach den Verdichterstufen abzuführende Wärme in die Umwelt abgeführt. Vor dem Eintritt in die Gasturbine wird die Luft durch Verbrennung eines zusätzlichen Brennstoffes wieder aufgeheizt. Derzeit laufen Forschungen bezüglich eines adiabaten CAES-Systems, bei dem die Wärme während der Verdichtung gespeichert und beim Entladevorgang der Luft wieder zugeführt wird.

4.4 Thermopotentialspeicher

Bei dieser Technologie funktioniert der Ladevorgang wie eine Wärmepumpe. Darin wird Gas verdichtet und anschließend in einem Hochdruck-Wärmespeicher gekühlt, welcher die thermische Energie speichert. Das kalte Gas expandiert in einer Turbine auf eine Temperatur unterhalb der Anfangstemperatur. Daraufhin kühlt es einen zweiten Regenerator, einen thermischen Speicher auf niedrigerem Druck und niedrigerer Temperatur. Am Ende des Ladeprozesses ist der Thermische Speicher für Hochdruck komplett bis zu der maximalen Prozesstemperatur aufgeheizt und der thermische Speicher für Niederdruck ist vollständig auf die minimale Prozesstemperatur gekühlt. Der Entladevorgang beinhaltet eine separate Verdichter-Turbinen-Kombination, die wie ein gewöhnlicher geschlossener Joule- (bzw. Brayton-) Prozess arbeitet.

4.5 Thermische Speicher

Bei thermischen Speichern kann anhand des Prinzips des Speicherprozesses zwischen sensiblen, latenten und chemischen Speichern unterschieden werden. Je nach Wärmeein- und austragsart wird weiter zwischen direkten und indirekten Speichern unterschieden. Bei direkten Speichern ist im Gegensatz zu indirekten

Speichern das Wärmeträgermedium mit dem Speichermedium identisch. Anstelle eines Wärmeträgermediums kann auch eine elektrische Heizung eingesetzt werden [13].

Thermische Speicher für sensible (fühlbare) Wärme:

Sensible Wärmespeicher sind dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmezufuhr- bzw. abfuhr im Lade- bzw. Entladevorgang stets mit einer Temperaturänderung des Mediums verbunden ist. Bei Feststoffen als Speichermedium sind keine direkten Wärmespeicher möglich, sie benötigen zusätzlich ein Wärmeträgermedium, das flüssig oder gasförmig ist. Oft ist daher nicht die Einsatztemperatur des Speichermediums die begrenzende Größe, sondern die des Wärmeträgermediums oder Anlagenteile wie z. B. Dichtungen, die mit diesem in Kontakt kommen.

Um die Zeit der Bereitstellung der elektrischen Energie zu verlängern, ist bei solarthermischen Kraftwerken die Entwicklung von thermischen Speichern am weitesten fortgeschritten. Hierfür kommt z.B. flüssiges Salz als sensibler thermischer Speicher bereits zum Einsatz.

Latentwärmespeicher:

Latente Wärme ist die Enthalpieänderung, die ein Stoff beim Wechsel des Aggregatzustandes erfährt, wobei sich die Temperatur bei reinen Stoffen nicht und bei Stoffgemischen in einem Temperaturbereich ändert. Vorteil der Phasenwechselmaterialien ist die hohe spezifische latente Wärme, die in der Größenordnung Faktor 100 größer ist, als die Wärmekapazität. Bei den meisten Phasenwechselmaterialien ist jedoch die Wärmeleitfähigkeit geringer, so dass diese Größe den begrenzenden Faktor darstellt.

Thermochemische Energiespeicher:

Bei thermochemischen Energiespeichern wird Wärme durch endotherme Reaktionen gebunden (Laden) und durch exotherme Reaktionen wieder freigesetzt (Entladen). Im Vergleich zu sensiblen und latenten thermischen Speichern haben thermochemische Energiespeicher sehr viel größere Speicherdichten, so dass sie sich besonders für große Kapazitäten eignen. Die Reversibilität und die Zyklenstabilität stehen im Vordergrund der Forschungsarbeiten zu thermochemischen Speichern.

5 Betrachtung einer Abfallverbrennungsanlage im Netz mit erneuerbaren Energien

5.1 Monitoring mit Online-Bilanzierungsprogrammen

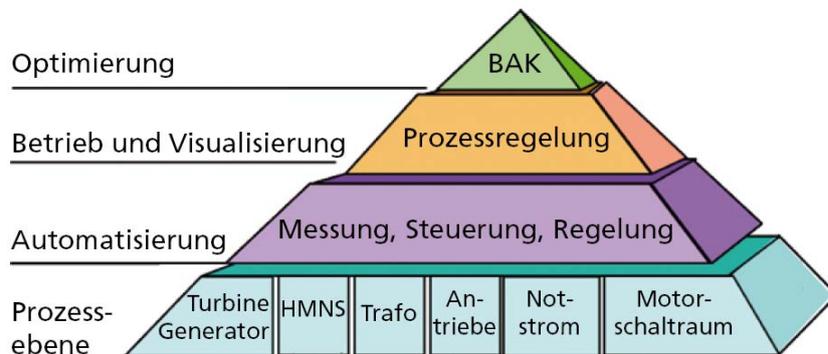
Für die betriebstechnische Überwachung des Anlagen-Ist-Zustandes steht in Abfallverbrennungsanlagen eine Vielzahl von Messwerten „online“ zur Verfügung (Emissionswerte, Dampfparameter, elektrische Leistungen usw.). Wesentliche Betriebsparameter für die Optimierung wie z. B. der Massenstrom und Heizwert des aktuell auf dem Rost verbrennenden Abfalls, Wirkungsgrade des Kessels und der Gesamtanlage, spezifische Verbräuche von Betriebshilfsstoffen können allerdings nicht unmittelbar gemessen werden, sondern sind rechnerisch – ebenfalls „online“ – durch Bilanzen zu bestimmen. Bei Biomasse- und Abfallverbrennungsanlagen wird die detaillierte und zeitnahe Bilanzierung dadurch erschwert, dass für eine geschlossene Bilanzierung teilweise Messwerte fehlen, dass in den einzelnen Anlagenabschnitten unterschiedliche Verweilzeiten auftreten und dass der Anlagenbetrieb ständigen Schwankungen unterworfen ist, bedingt durch die inhomogenen und zunehmend wechselhaften Eigenschaften der eingesetzten Biomasse und der Abfälle.

Bezüglich der Einzelheiten von Online-Bilanzierungsprogrammen sei auf [16] und [17] verwiesen.

5.2 Betriebsartenkonzept

Die Online-Bilanzierung bildet eine wesentliche Grundlage für die Gestaltung von sogenannten Betriebsartenkonzepten, die einerseits der Optimierung der Anlage selbst dienen können, die aber auch im Hinblick auf die bedarfsgerechte Abgabe und Speicherung von Energie ausgerichtet werden können. Die Einbindung in ein Fernwärmenetz oder in einen Kraftwerkspark mit stark schwankendem Energiebedarf auf einer Seite und die Veränderungen der verfügbaren Brennstoffmenge sowie der Brennstoffeigenschaften auf der anderen Seite erfordern eine flexible Fahrweise einer Abfallverbrennungsanlage. Um die Betriebsfahrweise den gegebenen Randbedingungen anpassen zu können wurde das Betriebsartenkonzept von Martin GmbH in Zusammenarbeit mit ABB Schweiz entwickelt, welches hier beispielhaft

zitiert sei [18]. Das Modul *Betriebsartenkonzept* wird übergeordnet in die Automatisierungstopologie der Abfallverbrennungsanlage eingesetzt (Abbildung 9).



HMNS: Hoch-/Mittel-/Niederspannung

Abbildung 9: Einordnung des Betriebsartenkonzeptes (BAK) in die Automatisierungstopologie der Abfallverbrennungsanlage [18]

Ein wichtiger Grund für die Entwicklung des übergeordneten Regelungskonzeptes war die Tatsache, dass viele Einflussfaktoren, die sich aus dem Betrieb der Anlage heraus ergeben, aber auch durch äußere Randbedingungen gegeben sind, bisher keine oder nur bedingt Berücksichtigung fanden. Die innerbetrieblichen Faktoren sind z. B. Verschmutzung, Verschleiß, wartungsfreundlicher Betrieb oder Korrosion. Äußere Randbedingungen sind vor allem Anforderungen an die Form und Menge der Energieabgabe wie elektrische Energie, Prozessdampf und Fernwärme, aber auch unzureichende Informationen über den zugeführten Brennstoff sind nachteilig für die Prozessführung [18].

Das Betriebsartenkonzept (BAK) ist grundsätzlich in die drei Hauptgruppen Energiezufuhr, Energieabgabe und Teilautomatik aufgeteilt (Abb. 10).

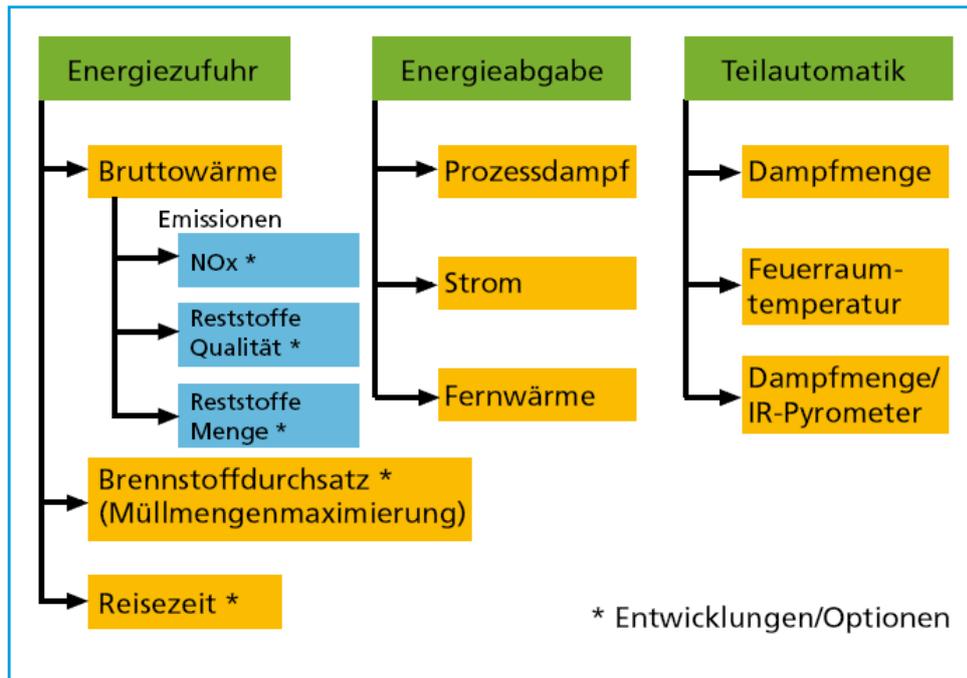


Abbildung 10: Betriebsartenvarianten [18]

Das Regelungskonzept *Energiezufuhr* beinhaltet als Standard die Betriebsart Bruttowärme, bei der aus verschiedenen online gemessenen Parametern der Heizwert des Abfalls und die Abfallmenge errechnet wird mit dem Ziel, je nach Abfallqualität und Anlagenzustand, die gewünschte, d.h. normalerweise die maximale Bruttowärmemenge automatisch geregelt zu fahren.

Die Betriebsart *Teilautomatik* besteht aus einem reduzierten Regelungsumfang, der bei Ausfall wichtiger Komponenten des Betriebsartenkonzepts angewählt werden kann, z.B. um die Anlage gezielt abzufahren oder mit konventioneller Regelungscharakteristik weiterzufahren.

Die Hauptbetriebsart *Energieabgabe* ist geprägt durch die Wahl der abzugebenden Energie in Form von Prozessdampf, elektrischer Energie und Fernwärme oder Kombinationen aus diesen. Hier spielen vor allem äußere Einflussfaktoren, wie z.B. Bedarf von Energieträgern, Klima und Produktionsabläufe eine große Rolle.

Ein Beispiel einer Anlage, in der neben einer Optimierung der Verfügbarkeit und des Wirkungsgrades durch anlagentechnische Maßnahmen, die Wirtschaftlichkeit durch Anwendung des Betriebsartenkonzeptes verbessert wird, ist die KVA Turgi. In diesem Fall wird in der Betriebsart Fernwärme eine Vorhersage des Bedarfsprofils erstellt und mit der Prognose zur Energieerzeugung so gekoppelt, dass die zu verkaufende elektrische Energie (Produktionsplan) ermittelt wird [18].

5.3 Beispiele zum Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen zur Übernahme von Netzregelungsaufgaben in regionalen Versorgungszellen

Bei der Betrachtung einer Region als eine kleine autarke Zelle mit einem Versorgungsgebiet, das mit Wind- und Solarenergie versorgt werden soll, stellt sich die Frage, ob eine Abfallverbrennungsanlage zur Netzstabilisierung beitragen kann. Dabei soll eine möglichst effiziente Energienutzung angestrebt werden.

Die Randbedingungen sind u.a. abhängig von der Jahreszeit und von Wetterverhältnissen. Im Folgenden werden zwei Beispiele dargestellt (Tabelle 1). Es wird angenommen, dass in einer kleinen regionalen Einheit ein nennenswertes Potential an elektrischer Energie aus Solar- und Windkraftanlagen eingespeist werden soll. An das elektrische Netz und das Fernwärmenetz dieses Versorgungsgebietes ist weiterhin eine Abfallverbrennungsanlage angeschlossen. Wie im Kap. 3 beschrieben, kommt es infolge von Änderungen der Windstärke und der Sonneneinstrahlung zur starken Fluktuation der in das Netz eingespeisten elektrischen Energie.

Im ersten Beispiel wird die Winterzeit mit kalten, windstillen, sonnigen Tagen betrachtet. Die Nutzung der elektrischer Energie und der Wärme ist hoch. Am Tag kommt es um die Mittagszeit zum Anstieg der Einspeisung von elektrischer Energie aus den Solarkraftanlagen. Falls aus diesem Grund die elektrische Energie aus der Abfallverbrennungsanlage zu dieser Zeit nicht abgenommen werden kann und keine zusätzliche Fernwärme benötigt wird, kann die überschüssige Energie als Wärme in einem thermischen Speicher gespeichert werden. Die Wärme aus dem Speicher kann dann zu Tageszeiten mit höherem Wärmebedarf abgegeben werden. Die thermischen Speicher sind bereits Stand der Technik. Zur Speicherung der zusätzlichen Energie, die wegen der Einspeisung aus den Erneuerbaren Energien nicht mehr als elektrische Energie abgegeben werden kann, muss der thermische Speicher entsprechend dimensioniert werden.

Das zweite Beispiel soll die Situation im Sommer veranschaulichen. Dazu wird eine Zeit mit warmen, sonnigen und windigen Tagen angenommen. Ohne größere, industrielle Wärmeabnehmer ist der Wärmebedarf zu dieser Zeit niedrig. Die elektrische Energie aus den Windkraftanlagen wird eingespeist. Am Tag kommt es

zu weiterem Anstieg der Einspeisung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien infolge der Sonneneinstrahlung. Die Speicherung der Wärme in einem thermischen Speicher ist in dem Fall derzeit noch keine geeignete Lösung. Um die Energie aus der Abfallverbrennung möglichst effizient zu nutzen und zur Netzstabilisierung beizutragen, wäre der Einsatz eines elektrischen Speichers erforderlich. Eine heutzutage technisch und wirtschaftlich realisierbare Lösung wäre ein Batteriespeicher (vgl. Kap. 4.), die ausführlicher in [13] diskutiert werden. Aufgrund der geringen spezifischen Kapazitäten eignen sich diese Speicher allerdings für Lade- und Entladezeiten in Minuten- bzw. Stundenbereich. Mit einem Batteriespeicher könnte die elektrische Energie zur Zeiten der Sonneneinstrahlung gespeichert werden, um in den abendlichen Stunden ins Netz entladen zu werden.

Tabelle 1: Randbedingungen und mögliche Lösungen in betrachteten Beispielen

Äußere Randbedingungen	Nutzung elektrische Energie	Nutzung thermische Energie	Energieversorgung Sonne	Energieversorgung Wind	mögliche Lösung
Winter: kalt, windstill, sonnig	hoch	hoch	ja	nein	thermischer Speicher
Sommer: warm, windig, sonnig	niedrig	niedrig	ja	ja	elektrischer Speicher

Ein effizienter Betrieb einer Abfallverbrennungsanlage unter Einfluss der erneuerbaren Energien erfordert neben dem Einsatz von Energiespeichern auch neuartige Regelungskonzepte, welche die aktuelle und die voraussichtliche Einspeisung der elektrischen Energie aus Wind und Sonne, das Verhalten der Abnehmer sowie die verfügbaren Speicherkapazitäten berücksichtigen. Wie das Beispiel der KVA Turgi (vgl. Kap. 5.2) zeigt, ist das Betriebsartenkonzept, insbesondere die Betriebsart *Energieabgabe*, dafür sehr gut geeignet.

Die Beispiele sollen zeigen, dass einerseits für den Fall, dass sich die Netzgestaltung zu Regelungen innerhalb autarker Zellen entwickelt, Bedarf zur Übernahme von Netzregulierungsaufgaben entstehen kann. Andererseits stehen dafür derzeit noch keine geeigneten Lösungen zur Verfügung. Zunächst besteht die Aufgabe, verschiedene Lösungsmöglichkeiten zu bilanzieren. Neben der energetischen

Bilanzierung sind dabei auch wirtschaftliche Aspekte und Fragen der Nachhaltigkeit zu diskutieren.

6 Literaturverzeichnis

- [1] VDI-Richtlinie 3460 Blatt 2 - Emissionsminderung - Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung, 2007.
- [2] Horeni, M.: Möglichkeiten für die energetische Optimierung von Müllverbrennungsanlagen - Entwicklung, Erprobung und Validierung eines Online-Bilanzierungsprogramms, Papierflieger, Clausthal-Zellerfeld, 2007.
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energiedaten - nationale und internationale Entwicklung, online verfügbar: www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html, zuletzt abgerufen am 08 03 2012.
- [4] Daten von der AG Energiebilanzen e.V., online verfügbar: www.ag-energiebilanzen.de, zuletzt abgerufen am 08 03 2012.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): erneubaren Energie in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung, Stand Juli 2011, Berlin, 2011,“ online verfügbar: www.erneubare-energien.de. zuletzt abgerufen am 08 03 2012.
- [6] Schmid, J. et. al.: Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100 % erneubaren Energien, Forschungsverbund erneubare Energien (Hrsg), Berlin, 2010.
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)(Hrsg.): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin, 2011.
- [8] Beckmann, M.; Pieper, C.; Reinhard S.; Muster, M.: Perspektiven für eine

Vollversorgung mit erneuerbaren Energien, in Kraftwerkstechnik - Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band. 4, Neuruppin, TK Verlag Thome-Kozmiensky, 2012.

- [9] Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, „BMWi,“ online verfügbar: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/eignung-von-speichertechnologien-zum-erhalt-der-systemsicherheit,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>. zuletzt abgerufen am 30 05 2013.
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, online verfügbar: [http://www.erneuerbare-energien.de/unser-service/mediathek/downloads/detailansicht/artikel/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland/?tx_ttnews\[backPid\]=253](http://www.erneuerbare-energien.de/unser-service/mediathek/downloads/detailansicht/artikel/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland/?tx_ttnews[backPid]=253), zuletzt abgerufen am 12 06 2013.
- [11] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), „Endbericht: Integration der erneuerbaren Energien in den deutsch-europäischen Strommarkt,“ online verfügbar: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2012/Endbericht_Integration_EE.pdf. zuletzt abgerufen am 30 05 2013.
- [12] Jeschke, R.; Henning; B.; Schreier, W.: Hitachi Power Europe GmbH, Bern, Schweiz, 2011.
- [13] Hack, N.; Unz S.; Pieper, C.; Beckmann, M.: Stand der Technik und innovative Verfahrenskonzepte zur Umwandlung und Speicherung elektrischer Energie, in Kraftwerkstechnik - Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 5, Neuruppin, TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2013.
- [14] Neupert, U.; Euting, T.; Kretschmer, T.; Notthoff, C.; Ruhlig, K.; Weimert B.: Energiespeicher. Technische Grundlagen und energiewirtschaftliches Potential, Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [15] Gamrad, D.; Markowz, G.; Dies, W. und Kolligs, C.: VDI-Konferenz

Elektrochemische Energiespeicher - Bereitstellung von Primärregelleistung durch Großbatteriespeicher, Ludwigsburg, 2012.

- [16] Beckmann, M.; Horeni, M.; Metschke, J.; Krüger, J.; Papa, G., L. Englmaier, L.; Busch, M: Optimierung von Müllheizkraftwerken durch Einsatz eines Online-Bilanzierungsprogramms, in Optimierung der Abfallverbrennung, Neuruppin, TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2005.
- [17] Mueller, C.; Frach, M.; Mußmann, B.; Schumacher M.: Direkte Messung und dynamische Softwarealgorithmen - ideale Kombination für erhöhte Dampferzeugereffizienz, in Energie aus Abfall - Band 7, Neuruppin, TK Verlag, 2010.
- [18] Busch, M.; Martin, J. E. J.; Bardi, S.; Bossart A.: Betriebsartenkonzepte für die Abfallverbrennung, in Energie aus Abfall, Band 8, Neuruppin, TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2011.