

Hindernisse auf dem Weg zur Energiewende

Karl J. Thomé-Kozmiensky

1.	Energie- und klimapolitische Ziele.....	218
2.	Situation in Deutschland.....	220
3.	Konventionelle Energien.....	225
3.1.	Kernkraftwerke.....	225
3.2.	Kraftwerke auf fossiler Basis.....	227
3.2.1.	Stein- und Braunkohle	229
3.2.2.	Erdöl	231
3.2.3.	Erdgas	233
4.	Erneuerbare Energien.....	235
4.1.	Windenergie	237
4.2.	Photovoltaik und Solarthermie.....	240
4.3.	Biomasse.....	243
4.4.	Biogas.....	250
4.5.	Wasserkraft	254
4.6.	Geothermie	255
5.	Dezentrale Stromversorgung.....	257
6.	Netze	260
7.	Speicher	261
8.	Akteure auf dem Markt	265
9.	Anmerkungen zur Wirtschaftlichkeit	266
10.	Fazit.....	270

1. Energie- und klimapolitische Ziele

Aus unterschiedlichen Gründen haben sich die energiepolitischen Vorstellungen in jüngster Zeit erheblich verändert. Dies bezieht sich im Wesentlichen auf die Ablehnung der Kernenergie und der Kohle. Diese konventionellen Energieträger stellen in zahlreichen Ländern das Fundament der Energieversorgung dar. Energiepolitisches Ziel in Europa ist die weitgehende und im Extremfall vollständige Umstellung auf Erneuerbare Energien.

Nach der Katastrophe im Kernkraftwerk Fukushima wird weltweit die Kernkraft neu bewertet. In Anbetracht der unterschiedlichen Abhängigkeiten von der Kernkraft in den verschiedenen Ländern fallen die Reaktionen differenziert aus. Während in Deutschland der Ausstieg aus der Kernkraft bis etwa 2020 beschlossen ist, sind in anderen Ländern vorsichtiger Reaktionen zu beobachten. In einigen Ländern – z.B. in Belgien und Frankreich – ist die Diskussion noch nicht abgeschlossen.

Allerdings bahnt sich in Belgien der Ausstieg aus der Kernkraft an, obwohl die sieben Kernkraftwerke 55 Prozent zur Stromversorgung des Landes beitragen. Noch im Jahr 2009 hatte die belgische Regierung für die drei ältesten Reaktoren die Laufzeit bis 2025 verlängert und dafür eine Sondersteuer von 245 Millionen Euro vom Betreiber akzeptiert, weil nach den vorliegenden Untersuchungen die zehnjährige Laufzeitverlängerung für diese Reaktoren für die Versorgungssicherheit des Landes als unverzichtbar angesehen wurde.

Es ist allgemeiner Konsens, dass die CO₂-Emissionen aus Gründen des Klimaschutzes reduziert werden müssen. Dies kann durch verminderten Einsatz von festen fossilen Brennstoffen geschehen. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen empfiehlt bezüglich der Stromproduktion die Beendigung des Betriebs von Kohlekraftwerken bis 2050. Bis dahin soll die gesamte Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien – unterstützt durch Gaskraftwerke – sichergestellt werden.

Dieses Ziel, das sich die Bundesregierung weitgehend zu eigen gemacht hat, ist aus unterschiedlichen Gründen nicht unumstritten. Insbesondere wird argumentiert, dass die Umstellung der Energieversorgung auf Erneuerbare Energien mit anderen weitgehend akzeptierten Zielen – z.B. des Natur- und Gesundheitsschutzes sowie der Versorgungs- und Arbeitsplatzsicherung – konkurriert.

Die Energieversorgungsunternehmen argumentieren, dass sich das Risiko von Strompannen in ganz Europa schon durch den partiellen Ausstieg von Deutschland aus der Kernenergie erhöht hat. Alleine die Stilllegung der deutschen Reaktoren habe jetzt schon das Gleichgewicht im europäischen Stromsystem gestört. Der Grundfehler liege in der Fehleinschätzung der Speicherkapazität von Energie. Wind- und Solarstrom können nicht durchgehend erzeugt werden; doch muss die Energiewirtschaft dafür sorgen, dass das Angebot zu jeder Zeit dem Bedarf entspricht. Obwohl seit Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts über die Speicherung von Energie geforscht wird, wurden kaum Fortschritte für die Speicherung großer Kapazitäten erzielt. Der einzigen sicheren Lösung mit hydroelektrischen Pumpstationen und großen Seen stehen geographische Begrenzungen sowie Umwelt- und Naturschutzvorschriften entgegen.

Die Bundesregierung wird ihre Ziele nur erreichen, wenn die technischen Voraussetzungen in der vorgesehenen Zeit geschaffen werden und der Umbau des Energiesystems ökonomisch und ökologisch darstellbar ist. Weitere, wesentliche Voraussetzung wird die Herstellung der Akzeptanz der Bevölkerung sowie der einzelnen von den erforderlichen Baumaßnahmen Betroffenen sein. Und dies werden viele sein. Konventionelle Kraftwerke können nur von wenigen gesehen und gehört werden. Durch den täglichen Betrieb werden nur wenige Anwohner direkt betroffen. Dagegen sind Windkraftwerke nahezu ubiquitär und Stromtrassen beeinträchtigen das Landschaftsbild ganzer Landstriche.

Literatur

- Beckereit, M.: Neue Energie für Hamburg. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 99-104
- Beckmann, M.; Hurtado, A.: Energieversorgung der Zukunft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 225-237
- Beckmann, M.; Pieper, C.: Erneuerbare Energien – Entwicklung und Perspektiven –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 3-21
- Billotet, T.: Strategie zur Nutzung alternativer Energieträger. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 57-65
- Bognar, K.; Behrendt, F.: Nutzung erneuerbarer Energien im Zusammenhang mit der Meerwasserentsalzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 153-171
- Faulstich, M.: Wege zur hundertprozentigen Stromversorgung aus erneuerbaren Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 23-32
- Felsmann, C.: Regenerative Energiequellen in der kommunalen Energieversorgung – Potentiale und Grenzen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 95-106
- Gassner, H.: Beitrag der erneuerbaren Energien im zukünftigen Energiemix. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 77-91
- Gaßner, H.: Strategie der Energieversorgung 2020. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 81-92
- Grundmann, J.: Erneuerbar, klimaneutral und nachhaltig – Vattenfall setzt auf Biomasse bei der Energieerzeugung – In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 109-116
- Hatakka, T.: Strategien zu einer stabilen und nachhaltigen Energieversorgung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 15-23
- Hey, C.: Hundert Prozent erneuerbare Stromversorgung bis 2050 – klimaverträglich, sicher, bezahlbar. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 45-59
- Knies, G.; Timm, G.; Führ, F.; Schön, M.; Straub, M.: Wie können zehn Milliarden Menschen auf dieser Erde leben? – Das Desertec Konzept. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 33-42
- Kohlmann, R.: Marktstrukturen und Strategien der Energiewirtschaft. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 3-14
- Kuhlmann, A.: Anmerkungen zur energiepolitischen Debatte im Herbst 2010. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 69-79
- Leipprand, A.; Sterner, M.; Faulstich, M.: Hundert Prozent erneuerbare Energien bis 2050?. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 3-21

- Lenk, U.: Paradigmenwechsel bei der Technologieauswahl in der Kraftwerkstechnik. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 9-23
- May, F.: Marketing Electricity Clean – Strategien in eine klimafreundliche Zukunft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 67-76
- Reiche, K.: Die Energiewende ist eine Chance für Deutschland. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 3-6
- Riedle, K.; Hake, J.-F.; Martinsen, D.; Henke, E.-G.: Vergleich von Energieszenarien für das Jahr 2050. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 33-48
- Rudloff, S.; Ruéb, G.: E.ON Climate & Renewables: Entwicklung der Erneuerbaren Energien vom Boutique-Maßstab zum Industriestandard. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 87-96
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung – Sondergutachten. Berlin: Erich Schmid Verlag GmbH, 2011, 396 S.
- Schmid, T.: Zusammenspiel regenerativer und konventioneller Stromerzeugung zum Erreichen der Ziele für die Energieversorgung und für den Klimaschutz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 67-86
- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Chancen und Risiken der Energieversorgung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 3-42
- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Stolpersteine und Akzeptanz bei der Umsetzung der Energiewende. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 51-66
- Vahrenholt, F.; Gassmer, H.: Die Energie der Zukunft – Ein Blick in das Jahr 2050. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 61-67
- Ziegahn, K.-F.: Versorgungssicherheit mit nachhaltigen Energiesystemen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 23-31

2. Situation in Deutschland

Derzeit ist die flächendeckende Energieversorgung in Deutschland sichergestellt und noch bezahlbar, obwohl die Energiekosten in Deutschland zu den höchsten in Europa zählen. Die Energieversorgung beruht hauptsächlich auf fossilen Energieträgern – Braun- und Steinkohle, Erdöl und Erdgas –, auf Kernenergie und auf einem zunehmenden Anteil an regenerativen Energieträgern (Tabelle 1).

Fast ein Viertel der Stromerzeugung in Deutschland stammt aus der Kernenergie. Ungefähr zwei Drittel des Stroms werden mit Kernenergie, Braun- und Steinkohle erzeugt. Dieser – zuverlässige – Teil der Stromversorgung stößt aus unterschiedlichen Gründen auf Ablehnung und soll durch Erneuerbare Energien abgelöst werden, soweit der Energieverbrauch nicht durch Erhöhung der Energieeffizienz und Gebäudesanierung reduziert werden kann.

Energieträger	Anteil %
Kernenergie	23,3
Braunkohle	24,3
Steinkohle	16,9
Erdgas	14,0
Erneuerbare Energien	16,9
Sonstige	5,0
Summe	100,4*

Tabelle 1:

Bruttostromerzeugung in Prozent des Stromverbrauchs in Deutschland im Jahr 2010

* Die Abweichung von 100 Prozent ergibt sich aus der Tatsache, dass mehr Strom erzeugt, als im Inland verbraucht wird.

Quelle: Destatis, zitiert in FAZ vom 12.04.2011, S. 11

Die Situation in Deutschland stellt sich nach den Ergebnissen bis einschließlich September dieses Jahres wie folgt dar: Der Energieverbrauch sank auch wegen der milden Witterung um etwa vier Prozent. Demnach lag bis Ende September 2011 der Energieverbrauch bei 334,6 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten. Bereinigt um Witterungseffekte ist der Energieverbrauch um 3,3 Prozent zurückgegangen. Im Einzelnen:

- der Verbrauch von Steinkohle ist leicht gestiegen,
- der Absatz von Braunkohle, die ausschließlich verstromt wird, zog um 2,7 Prozent an,
- der Anteil der Kernenergie ging nach der Abschaltung der älteren Kernkraftwerke im März um 21 Prozent im Jahresvergleich zurück,
- der Anteil der Erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch stieg auf 10,5 Prozent, die Tendenz ist steigend,
- im ersten Halbjahr 2011 trug Windstrom 7,5 Prozent zur deutschen Stromerzeugung bei.

Nach der Abkehr von der Kernenergie konzentriert sich die Förderung der Bundesregierung in erster Linie auf die Windenergie, weil diese derzeit die günstigste *grüne* Quelle ist.

Aus Gründen der Netzkapazität müssen Windanlagen immer häufiger abgeschaltet werden. Die Besitzer dieser Anlagen werden dafür zwar entschädigt, doch wird von ihnen die häufig späte Abrechnung von mehr als einem Jahr beklagt.

Die überwiegende Mehrheit der Bevölkerung und – daraus abgeleitet – der Mitglieder der Regierungen und Parlamente in Deutschland bekundet, dass die Energieerzeugung mit Kernkraftwerken zügig beendet werden soll; häufig genannt werden die Jahre 2020 und 2022 für die Schließung des letzten Kernkraftwerks. Der Neubau von Kohlekraftwerken und auch der Weiterbetrieb dieser Kraftwerke stoßen aus Gründen des Klimaschutzes auf Widerstand.

Die Situation der Energieversorgung ist in den Staaten Europas durchaus unterschiedlich. Das bezieht sich sowohl auf die Anteile der Kernkraft als auch auf die Anteile der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Auffallend sind Länder mit mehr als fünfzig Prozent Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien; das sind Länder, die über günstige Voraussetzungen für die Stromerzeugung durch Wasserkraft verfügen, z.B. Schweden, Österreich und die Schweiz.

Angestrebt wird die weitgehende Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien oder eine Kombination von Erneuerbaren Energien und von mit Erdgas betriebenen Gaskraftwerken. Dabei werden die Entwicklungen in den europäischen Staaten durchaus unterschiedlich verlaufen. Tabelle 2 zeigt den derzeitigen Stand und den erwarteten Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung in der EU bis zum Jahr 2030. Aus den derzeitigen etwa zwanzig Prozent sollen binnen zwanzig Jahren fast vierzig Prozent werden. Während heute noch der Anteil der Wasserkraft dominiert, soll schon 2020 die Windenergie die tragende Säule der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien sein. Der Anteil der Biomasse wird sich in naher Zukunft verdoppeln, wird dann aber voraussichtlich stagnieren und zukünftig weniger als die Hälfte der Windenergie ausmachen, mit abnehmender Tendenz. Sonne und Geothermie werden im Norden des Kontinents nur wenig zur Stromerzeugung beitragen; der Anteil der Sonnenenergie wird im Süden Europas höher als im Norden sein.

Tabelle 2: Erwarteter Ausbau der Erneuerbaren Energien – Anteile an der Stromerzeugung in der EU-27 –

	2010		2020		2030	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Wasser	323	9,8	341	9,2	358	8,8
Wind	161	4,9	525	14,2	694	17,0
Biomasse	120	3,6	261	7,0	286	7,0
Sonne	17	0,5	62	1,7	94	2,3
Geothermie	7	0,2	19	0,5	36	0,9
Summe	628	19,0	1.208	32,6	1.468	36,1

Quellen: ECF; Eurostat; Europäische Kommission; IEA; AG Energiebilanzen; eigene Berechnungen, zitiert in FAZ vom 24.3.2011, Nr. 70, S. 12

Selbst, wenn es im prognostizierten Zeitraum technisch möglich wäre, die vom Sachverständigenrat für Umweltfragen postulierte hundertprozentige Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien zu realisieren, würde dieses Ziel nur mit dem gleichzeitigen weitgehenden Umbau der Infrastruktur erreicht werden, die durch den Umbau der Netze und den Neubau von Speichern hergestellt werden müsste.

Auch wenn die völlige Neugestaltung der Energieversorgung noch auf allgemeine Zustimmung der Bevölkerung stößt, werden sich in konkreten Fällen erhebliche Akzeptanzprobleme und Widerstände sowohl gegen die Erzeugung als auch gegen den Bau von Stromleitungen und Speichern ergeben. Diese Erkenntnis muss auch für die Planungs- und Genehmigungsprozesse von Anfang an berücksichtigt werden. Einsprüche, Demonstrationen und gerichtliche Auseinandersetzungen mit dem Ziel der Verhinderung von Projekten werden zumindest zu Verzögerungen führen, auch wenn mit Gesetzen versucht wird, die Mitwirkung betroffener Bürger im konkreten Fall einzuschränken.

Die für die Planung und Realisierung Verantwortlichen werden folgende Fragenkomplexe schlüssig und mit allen sich daraus ergebenden Konsequenzen beantworten müssen. Hier seien einige Fragen beispielhaft aufgelistet:

- Kann die vollständige und sichere Energieversorgung ohne Kernkraftwerke und Kohlekraftwerke in der vorgesehenen Zeit technisch überhaupt realisiert werden?
- Welche Auswirkungen hat der vollständige Ausstieg aus der Stromerzeugung mit Kohle in Deutschland auf das Weltklima?

- Kann der Stromverbrauch durch Energieeffizienz und Gebäudesanierung auch bei Realisieren der flächendeckenden Elektromobilität reduziert werden?
- Wie wird die Landschaft durch den zunehmenden Bau von Windparks und von neuen Stromtrassen sowie durch den großflächigen Anbau von Biomasse-Pflanzen verändert?
- Welche Auswirkungen werden die Monokulturen auf die biologische Vielfalt haben?
- Welche gesundheitlichen Beeinträchtigungen sind durch den Bau und Betrieb von Windkraftanlagen bei Menschen und anderen Lebewesen zu erwarten?
- Wie wird sich der Wert von Grundstücken und Gebäuden durch den Bau von Windparks und neuen Stromtrassen verändern?
- Welche Auswirkungen werden die höheren Energiepreise auf die Haushalte, auf die Wirtschaft und damit auf die Arbeitsplätze haben?
- Wie wird sich die Konkurrenz um landwirtschaftliche Erzeugnisse durch Biogasanlagen und Biokraftstoff auf die Verfügbarkeit und die Preise von Nahrungsmitteln auswirken?
- Wie werden sich die Bemühungen um dezentrale Energieversorgung durch Kommunen und Industrieunternehmen auf die Netzstruktur in Deutschland auswirken?
- Welche Auswirkungen auf die Stromversorgung in den Nachbarländern hat der Verzicht auf Kernkraft und Kohlekraftwerke in Deutschland?
- Werden ausreichende Stromspeicher für windarme Nächte zur Verfügung stehen?
- Was bedeutet der vorhersehbare Erfolg von finanzkräftigen Großunternehmen bei der Einwerbung von Fördermitteln für die zukünftige Struktur des Energiemarktes?

Literatur

- Appel, M.: Umwelt- und planungsrechtliche Fragen des Ausbaus von Hochspannungsleitungen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 211-229
- Beckereit, M.: Neue Energie für Hamburg. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 99-104
- Beckmann, B.: Grundlagen und System des Emissionshandelsrechts. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Beckmann, M.; Hurtado, A.: Energieversorgung der Zukunft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Beckmann, M.; Pieper, C.: Erneuerbare Energien – Entwicklungen und Perspektiven. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 3-21
- Briese, D.: Eigentümerstrukturen bei Anlagen für erneuerbare Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Ehrmann, M.: Emissionshandel – Rechtliche Probleme der 3. Zuteilungsperiode. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 165-181
- Faulstich, M.: Wege zur hundertprozentigen Stromversorgung aus erneuerbaren Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 23-32

- Felsmann, C.: Regenerative Energiequellen in der kommunalen Energieversorgung – Potentiale und Grenzen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Gassner, H.: Beitrag der erneuerbaren Energien im zukünftigen Energiemix. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 77-92
- Gaßner, H.: Strategie der Energieversorgung 2020. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Hatakka, T.: Strategien zu einer stabilen und nachhaltigen Energieversorgung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 15-23
- Hey, C.: Hundert Prozent erneuerbare Stromversorgung bis 2050 – klimaverträglich, sicher, bezahlbar. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Kohlmann, R.: Marktstrukturen und Strategien der Energiewirtschaft. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 3-14
- Kuhlmann, A.: Anmerkungen zur energiepolitischen Debatte im Herbst 2010. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Leipprand, A.; Sterner, M.; Faulstich, M.: Hundert Prozent erneuerbare Energien bis 2050? In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 3-22
- May, F.: Making Electricity Clean – Strategien in eine klimafreundliche Zukunft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 67-76
- Reiche, K.: Die Energiewende ist eine Chance für Deutschland. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 3-6
- Riedle, K.; Hake, J.-F.; Martinsen, D.; Hencke, E.-G.: Vergleich von Energieszenarien für das Jahr 2050. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 33-49
- Schlegelmilch, K.: Windenergie und die Netzintegration von Erneuerbaren Energien in Deutschland und international. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 327-332
- Schmid, T.: Zusammenspiel regenerativer und konventioneller Stromerzeugung zum Erreichen der Ziele für die Energieversorgung und für den Klimaschutz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 67-86
- Schneiders, T.: E.ON Climate & Renewables: Entwicklung der erneuerbaren Energien vom Boutique-Maßstab zum Industriestandard. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 93-98
- Schrader, K.; Schemm, R.: Marktparität erneuerbarer Energie aus Wind und Photovoltaik. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 209-214
- Steinbach, A.: Auf dem Weg ins regenerative Zeitalter – Ein Offshore-Netz in der Nordsee. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 231-235
- Thomé-Kozmiensky, K. J.; Thiel, S.: Beitrag der Abfallwirtschaft zur Energie- und Rohstoffversorgung in Deutschland. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 271-300

- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Stolpersteine und Akzeptanz bei der Umsetzung der Energiewende. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 51-66
- Vahrenholt, F.; Gassner, H.: Die Energie der Zukunft – Ein Blick in das Jahr 2050. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- Versteyl, A.: Rechtliche Instrumente zur Standortsicherung von Energieversorgungsanlagen und zum Ausbau erneuerbarer Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 107-120
- Ziegahn, K.-F.: Versorgungssicherheit mit nachhaltigen Energiesystemen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 23-32

3. Konventionelle Energien

3.1. Kernkraftwerke

In der Veröffentlichung vom September 2010 [Thomé-Kozmiensky] hieß es noch auf Seite 17: *Im Spätsommer 2010 sollen Gutachten über Kosten und Wirkungen einer Verlängerung der Laufzeit der noch siebzehn am Netz befindlichen deutschen Kernkraftwerke vorliegen. Die Bundesregierung will auf dieser Basis beschließen, wie lange und ob die Kernkraftwerke länger als bis 2020/21 und damit länger als bisher geplant, am Netz bleiben dürfen. Die Entscheidung soll ein wesentlicher Baustein des Energiekonzepts der Bundesregierung werden.*

Der Bundestag entschied dann am 28. Oktober 2010 mit den Stimmen der Koalition für Laufzeitverlängerungen der vor 1980 in Betrieb gegangenen sieben Anlagen um acht Jahre und die der übrigen Kraftwerke um vierzehn Jahre.

Nach der durch das Erdbeben vor der Ostküste von Japan am 11. März 2011 ausgelösten Katastrophe im 1971 in Betrieb genommenen Kernkraftwerk Fukushima wurden die mit der Kernkraft einhergehenden Risiken auch von den bis dahin die Kernkraft befürwortenden Parteien in Deutschland neu bewertet, die sich in der Vergangenheit stets zuverlässig für den längeren Betrieb der Kernkraftwerke eingesetzt hatten. In der Folge wurden kurzfristig sieben ältere oder als unsicher geltende Kernkraftwerke für eine Sicherheitsüberprüfung vom Netz genommen.

Das Bundeskabinett fasste am 6. Juni 2011 verschiedene Beschlüsse zur Energiewende. Zum Ausstieg aus der Kernenergie enthält das Eckpunktepapier der Bundesregierung folgende Festlegungen:

Deutschland wird schrittweise bis spätestens Ende 2022 vollständig auf die Stromerzeugung in Kernkraftwerken verzichten. Die sieben Kernkraftwerke, die während des Moratoriums abgeschaltet wurden, sowie das Kernkraftwerk Krümmel werden nicht wieder ans Netz gehen. Für die einzelnen Kernkraftwerke werden konkrete Termine für deren Abschaltung genannt: So werden bis Ende 2015 das Kernkraftwerk Grafenrheinfeld, bis Ende 2017 das Kernkraftwerk Gundremmingen B, bis Ende 2019 das Kernkraftwerk Philippsburg 2 und bis Ende 2021 die Kernkraftwerke Grohnde, Gundremmingen C und Brokdorf abgeschaltet. Die drei jüngsten Anlagen – Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 – werden spätestens mit Ablauf des Jahres 2022 vom Netz genommen. Die verbleibenden Laufzeiten orientieren sich an 32 Betriebsjahren, um den eigentumsrechtlichen Anforderungen Rechnung zu tragen.

Tabelle 3: Kernkraftwerke in der Europäischen Union

	Zahl der Reaktoren	
	in Betrieb	in Bau
Frankreich	58	1
Großbritannien	19	
Deutschland	9	
Schweden	10	
Spanien	8	
Belgien	7	
Tschechische Republik	6	
Finnland	4	1
Ungarn	4	
Slowakei	4	2
Rumänien	2	
Bulgarien	2	2
Niederlande	1	
Slowenien	1	
EU-27 insgesamt in Betrieb	135	
EU-27 insgesamt in Bau		6

die Schweiz betreibt fünf Reaktoren; Polen und Italien planen Kernkraftwerke

Quelle: FAZ vom 24.3.2011, Nr. 70, S. 12, für Deutschland aktualisiert

Stromversorgung insbesondere im Süden Deutschlands. Die Risiken – auch für Deutschland – werden nur bedingt vermindert, solange die übrigen Staaten in Europa eine andere Politik verfolgen. Einige Kraftwerke im europäischen Ausland stehen mehr oder weniger dicht an der Grenze zu Deutschland und würden im Fall einer Katastrophe sofort und unmittelbar auf deutsches Gebiet wirken.

Wesentliche Akteure bei Veränderungen auf dem Energiemarkt sind die Erzeuger – hier insbesondere die vier großen Betreiber der Kernkraftwerke E.ON, RWE, Vattenfall und EnBW – sowie die Netzbetreiber. Zwischen diesen bahnt sich ein Konflikt über die Abschaltung während der Revisionszeiten von Kernkraftwerken an. Die Betreiber von Hochspannungsnetzen können Kraftwerksbetreiber anweisen, die Stromproduktion an- oder abzufahren, damit sie die Netzspannung halten können. Der Betreiber des früheren E.ON-Netzes, die Firma TenneT TSO GmbH vertritt die Ansicht, dass aus diesem Grund geplante vorübergehende Kraftwerksstilllegungen ggf. verschoben werden müssten. Die Kernkraftwerksbetreiber widersprechen und lassen verlauten: *Unsere Kernkraftwerke gehen genau dann in Revision, wenn sie dafür planmäßig vorgesehen sind* und weiter *Die Sicherheit unserer Kraftwerke geht in jedem Fall vor* [FAZ vom 19.3.2011]. TenneT teilt außerdem mit, dass auch geplante Baumaßnahmen am Netz verschoben werden müssen, um die Stromversorgung zu sichern. Durch die Abschaltung der sieben Kernkraftreaktoren wird damit gerechnet, dass sich wegen der veränderten Stromflüsse im Netz vermehrt Engpässe ergeben, wenn auch keine unmittelbare Systemgefährdung bestehe.

Die Bundesnetzagentur hat darauf hingewiesen, dass aus Gründen der Netzstabilität in den Wintern 2011/2012 und 2012/2013 zusätzliche Kraftwerkskapazität erforderlich ist. Deshalb soll eines der Kraftwerke, die nach dem Moratorium nicht wieder in Betrieb genommen wurden, noch bis Frühjahr 2013 als Reservekraftwerk zur Verfügung stehen. Allerdings gilt dies nur, wenn konventionelle Reserve-Kraftwerke nicht ausreichen, um Gefahren für Sicherheit und Stabilität der Elektrizitätsversorgung abzuwenden.

Im Europa der 27 Einzelstaaten sind zurzeit 35 Reaktoren in Betrieb und sechs im Bau (Tabelle 3).

In Deutschland werden derzeit noch neun Reaktoren an acht Standorten betrieben. Bei den seit dem Moratorium abgeschalteten sieben Reaktoren handelt es sich um Brunsbüttel (Schleswig-Holstein), Unterweser (Niedersachsen), Biblis A und B (Hessen), Philippsburg und Neckarwestheim I (Baden-Württemberg) sowie Isar I (Bayern). Die Abschaltung dieser Kernkraftwerke hat erhebliche Folgen für die Sicherstellung der

Literatur

- Bächler, M.; Gerhards, E.: Rückbau kerntechnischer Anlagen – Erfahrungen der Vergangenheit und Ausblicke für die Zukunft. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 343-346
- Bröskamp, H.: Nukleare Entsorgung in Deutschland – Aktueller Stand und nächste Schritte. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 333-342
- Bundesregierung: Eckpunktepapier zur Energiewende vom 06.06.2011. Der Weg zur Energie der Zukunft – sicher, bezahlbar und umweltfreundlich.
- Fanghänel, T.; Glatz, J.-P.; Somers, J.: Geschlossener Brennstoffkreislauf für eine zukünftige nachhaltige Kernenergienutzung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 583-596
- Güldner, R.: Heutige und künftige Rolle der Kernenergie in Europa. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 289-293
- Haas, D.: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung der Kernenergie. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 575-582
- Hohlefelder, W.: Europa baut die Kernenergie aus – und wo bleibt Deutschland? In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 283-287
- Hurtado, A. M.: Künftige Kernenergienutzung – Kerntechnische Ausbildung und Kompetenzerhalt in Deutschland. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 637-645
- Kallenbach-Herbert, B.: Akzeptanzfragen bei der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 625-636
- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Chancen und Risiken der Energieversorgung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010

3.2. Kraftwerke auf fossiler Basis

Trotz aller Argumente, die aus Gründen des Klimaschutzes gegen den Betrieb von Kraftwerken auf Basis fossiler Brennstoffe sprechen, werden sie weiterhin für die Sicherheit der Energieversorgung unverzichtbar sein, insbesondere vor dem Hintergrund der beschleunigten Abschaltung der Kernkraftwerke. Bevorzugt werden mit Erdgas betriebene Kraftwerke, weil sie schnell abzuschalten und hochzufahren sind und im Vergleich mit Kohlekraftwerken geringere Kohlendioxidemissionen verursachen. Dennoch werden auch Kohlekraftwerke weiterhin notwendig sein, weil sie grundlastgeeignet sind und weil der notwendige Brennstoff Braunkohle für lange Zeit in Deutschland verfügbar sein wird.

Die SPD plädiert dafür, mittelfristig auf Gaskraftwerke und auf moderne Kohlekraftwerke zu setzen. *Wir brauchen die acht bis zehn Kohlekraftwerke, die sich derzeit im Bau befinden* [FAZ, 19.04.2011, Nr. 92, S. 4]. Sie befinden sich damit in Übereinstimmung mit dem sächsischen Ministerpräsidenten, der davor warnt, auf Braunkohle-Kraftwerke zu verzichten.

Literatur zu Kraftwerken auf fossiler Basis

- Altmann, H.: Entwicklungsperspektiven für konventionelle Kraftwerke aus Sicht eines Energieversorgers. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 59-63
- Heim, M.; Ferrand, T.; Kluger, F.: Simulation der Dynamik von Steinkohledampferzeugern beim Anfahren, im Lastbetrieb und bei Betriebsstörungen. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 691-703
- Hoffmann, K.; Rhein, M.; Gampe, U.; Buchheim, G.; Fricke, L.; Deranek, R.: Gasturbinentechnik für wärmelasttolerante KWK-Anlagen und Nutzung industrieller Abwärme. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 393-404
- Lenk, U.; Richter, F.; Schneider, R.: Nutzung alternativer Brennstoffe in Gasturbinen – Betriebserfahrungen und Ausblick. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 367-379
- Nolte, M.; Brüggendick, H.; Brosch, K.: Kohlekraftwerke im Energiemix mit den erneuerbaren Energien – Der Schwachlastbetrieb und seine Auswirkungen auf das Kohlekraftwerk. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 699-707
- Tigges, K.-D.: Marktentwicklung für konventionelle Kraftwerke aus der Sicht eines Anlagenbauers. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 39-56
- Vogeler, K.: Zukunftsperspektiven für die Hochtemperatur-Gasturbine. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 353-364
- Wechsung, M.; Gräber, C.; Lemmen, H.: Dampfturbinen für den flexiblen Lastbetrieb in modernen Kohlekraftwerken. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 263-276

Literatur zu Carbon Capture and Storage (CCS)

- Behr, P.; Beßler, M.; Maun, A.; Heischkamp, E.; Görner, K.: Pilotanlage zur CO₂-Abtrennung aus Kraftwerksabgasen als Nachrüstvariante. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 227-236
- Brechtel, K.; Schäffer, A.; Cifre, P. G.; Seyboth, O.; Scheffknecht, G.: Vergleich von Waschlösungen für die CO₂-Abtrennung aus Rauchgasen mit einem Sprühabsorber. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 339-350
- Burchardt, U.; Griebe, S.; Kass, H.; Giering, R.; Preusche, R.: Erfahrungen aus dem Testbetrieb der Oxyfuel-Forschungsanlage von Vattenfall und Ausblick zur Oxyfuel-Technologie. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 51-70
- Burchardt, U.; Lysk, S.; Kosel, D.; Griebe, S.; Kass, H.; Preusche, R.: Betriebserfahrungen aus zwei Jahren Testbetrieb der Oxyfuel-Forschungsanlage von Vattenfall. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 221-239
- Eggers, R.; Köpke, D.; Engberg, R.: Grenzkonzentration von Wasser bei der CO₂-Abscheidung im Oxyfuel-Prozess. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 581-591

- Epple, B.; Ströhle, J.: Simulation des Chemical-Looping-Verfahrens zur CO₂-Abscheidung aus Kohlekraftwerken. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 421-429
- Großmann, J.; Dahmke, A.: Chancen und Risiken der geologischen CO₂-Einlagerung bzw. -speicherung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 139-147
- Heischkamp, E.; Behr, P.; Oeljeklaus, G.; Görner, K.: CO₂-Rückhaltung aus Rauchgasen kohlebefeuertter Kraftwerke. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 327-338
- Hellriegel, M.: Carbon Capture and Storage (CCS) – Rechtsrahmen für CO₂-Abscheidung, -Transport und -Speicherung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 25-40
- Kather, A.; Oexmann, J.; Mehrkens, C.; Burböck, M.; Kinger, G.: Nachrüstung einer CO₂-Abgaswäsche an einem bestehenden Steinkohlekraftwerk – Optimale Integration zur Minimierung der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 607-617
- Klostermann, M.; Köpke, D.; Hermsdorf, C.; Mieske, K.; Kather, A.; Eggers, R.: Der steinkohlebefeuerte Oxyfuel-Prozess. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 377-391
- Kluger, F.; Mönckert, P.; Wild, T.; Marquard, A.; Lévassieur, A. A.: Entwicklungsstand der Oxy-Verbrennungstechnologie. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 207-220
- Kubacz, V.; Heberle, A.; Toussaint, A.: Mobile Pilotanlage zur Abtrennung von CO₂ aus Kraftwerksabgasen. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 573-579
- Linnenberg, S.; Kather, A.: Untersuchung des Einflusses der Teillastfahrweise auf den integrierten Gesamtprozess eines 1.100 MW Steinkohlekraftwerksblocks mit nachgeschalteter CO₂-Abgaswäsche und CO₂-Verdichtung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 403-417
- Multhaupt, S.; Oeljeklaus, G.; Behr, P.; Görner, K.; Riethmann, T.; Schraven, A.; Kruse, D.: Entwicklung, Erprobung und Simulation neuartiger Absorbentien für Post Combustion Capture Prozesse. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 219-226
- Oexmann, J.; Hasenbein, C.; Kather, A.: Energetischer Vergleich chemischer Lösungsmittel für die Post-Combustion CO₂-Abtrennung im Gesamtkraftwerksprozess. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 315-325
- Peine; Knopp; Radcke: Rechtsfragen der Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS). Berlin: Lexxion Verlagsgesellschaft mbH, 2011, 212 S.
- Plasa, S.; Wilckens, C.: CCS-Beschaffungsstrategien. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 255-265
- Ritter, R.; Kutzschbach, A.; Stoffregen, T.: Energetische Bewertungen einer CO₂-Kompressions- und Reinigungsanlage für den Oxyfuel-Prozess am Beispiel einer Demonstrationsanlage. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 593-606

3.2.1. Stein- und Braunkohle

Kohle gibt es fast überall auf der Welt. Importabhängigkeiten wie bei Gas und Öl bestehen für Deutschland nicht, das über nennenswerte Lagerstätten verfügt. Braunkohle wird ohne Subventionen gefördert; für Steinkohle ist dies trotz der ungünstigen Lagerstätten bei weiter steigenden Preisen zumindest vorstellbar.

Die Vorräte reichen weiter als bei jedem anderen fossilen Energieträger. Schätzungen gehen von rund zwei- bis mehr als dreihundert Jahren aus. Kohlen eignen sich vor allem zur Stromerzeugung in der Grundlast. Rund fünfzig Prozent des deutschen Stroms stammt aus Kohlekraftwerken.

Kein Energieträger ist so klimaschädlich wie Kohle. Bei der Verbrennung entsteht rund doppelt so viel Kohlendioxid wie bei Gas. Problematisch könnte die Situation werden, wenn abgeschaltete Kernkraftwerke durch weitere Kohlekraftwerke ersetzt werden müssen, weil die Lücke nicht durch Erneuerbare Energien geschlossen werden kann. Als bedenklich werden außerdem die Arbeitsbedingungen in einigen Kohleförderländern eingestuft. Zu den größten Produzenten zählen China, Russland und Südafrika. Das sind Länder, in denen regelmäßig Bergwerksunfälle passieren, bei denen Bergleute ums Leben kommen.

Im Koalitionsvertrag der Regierungsparteien wurde der Ausstieg aus der Steinkohleförderung in Deutschland für das Jahr 2018 festgelegt. Am 20. Juli 2010 beschloss die EU-Kommission jedoch, dass der Steinkohlenbergbau in Europa nur noch bis 2014 subventioniert werden soll. Damit ist der deutsche Steinkohlekompromiss hinfällig.

Die Wertschätzung der Kohle hat sich während des vergangenen Jahrhunderts in Deutschland vom Symbol wirtschaftlicher Stärke zu einem hauptsächlichen Verursacher des Klimawandels verändert.

Mit einem Anteil von elf Prozent am Primärenergieverbrauch waren Stein- und Braunkohle 2009 der zweitwichtigste Energielieferant in Deutschland, gefolgt vom Erdgas.

Steinkohle wird hauptsächlich zur Stromerzeugung in Kraftwerken verbrannt. Fast der gesamte Rest wird von der Industrie zur Erzeugung von Roheisen und Stahl verbraucht. Im Wärmemarkt spielt Steinkohle heute eine vernachlässigbare Rolle. In der Stromversorgung nimmt ihr Anteil mit zuletzt 18,3 Prozent zwar ab, er ist aber weiterhin bedeutend.

Die Steinkohleförderung in Deutschland soll nach dem Willen der Bundesregierung bis 2018 und nach den Richtlinien der Europäischen Union bis 2014 ganz eingestellt werden. Letzteres hängt mit der Zulässigkeit der Subventionen für den Steinkohlebergbau zusammen. Die Steinkohleförderung in Deutschland ist von 150 Millionen Tonnen im Jahr 1950 auf 14 Millionen Tonnen im Jahr 2009 zurückgegangen.

37 Millionen Tonnen Steinkohle werden jährlich eingeführt. Dies ist preisgünstiger als der Abbau in Deutschland, weil Steinkohle in anderen Ländern aus günstigeren Lagerstätten abgebaut werden kann. Steinkohle kommt in vielen Ländern der Erde vor. Ihre Vorkommen reichen noch für Generationen.

Wichtigste Lieferländer waren im Jahr 2009 Russland mit 25 Prozent gefolgt von Südafrika, Kolumbien, Amerika, Polen und Australien.

Die in Deutschland verbrannte Braunkohle wird ausschließlich im Inland gefördert. Der Transport über weite Entfernungen lohnt wegen der im Vergleich zur Steinkohle geringeren Energiedichte nicht. Braunkohlenenergie wird fast ausschließlich in Strom umgewandelt.

Knapp ein Viertel der Stromerzeugung stammte im Jahr 2009 aus Braunkohlekraftwerken, die damit den größten Anteil am deutschen Stromerzeugungsmix haben. Braunkohle wird vor allem im Rheinland und in der Lausitz abgebaut. Sie ist der einzige heimische Energieträger, der in großen Mengen vorhanden ist.

Gegen den Abbau von Braunkohle wird vorgebracht, dass mit ihrem übertägigen Abbau große Flächen verändert werden, die später rekultiviert werden müssen, und dass durch die Verbrennung große Mengen Kohlendioxid freigesetzt werden. Daher wird die Verbrennung von Kohle mit einem Emissionszuschlag belegt. Mittel- bis langfristig soll das Kohlendioxid durch Optimierung des Verbrennungsprozesses vermindert und durch neue Gasreinigungstechniken abgeschieden, durch Pipelines in Speicher transportiert und in diesen sicher abgelagert werden.

Umweltschutzorganisationen verlangen das Verbot für die Errichtung neuer Stein- und Braunkohlekraftwerke.

Literaturhinweise zu Stein- und Braunkohle

Epple, B.; Ströhle, J.: Simulation des Chemical-Looping-Verfahrens zur CO₂-Abscheidung aus Kohlekraftwerken. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 421-429

Kather, A.; Oexmann, J.; Mehrkens, C.; Burböck, M.; Kinger, G.: Nachrüstung einer CO₂-Abgaswäsche an einem bestehenden Steinkohlekraftwerk – Optimale Integration zur Minimierung der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 607-617

3.2.2. Erdöl

Mineralöl bestritt 2009 mehr als ein Drittel, nämlich 34,7 Prozent, des Primärenergieverbrauchs. Mit 108.000 Tonnen lag er zwar krisenbedingt fünf Prozent unter dem Vorjahresniveau, jedoch deutlich unter dem des Jahres 1956 mit dem größten Absatz, als 132.000 Tonnen verbraucht wurden.

Beim Verbrauch ergibt sich folgende Rangfolge: Verkehr vor Heizenergie und Industrie. Mehr als die Hälfte des Verbrauchs wird für den Kraftfahrzeug- und Flugverkehr benötigt. Bei Kraftstoffen gibt es eine seit Jahren anhaltende Verschiebung: die Nachfrage nach Diesel steigt, während die nach Benzin zurückgeht. Ein Grund dafür ist die Ausweitung des Güterverkehrs mit Lastkraftwagen und die hohe Zahl dieselpetriebener Personenkraftwagen. Auf Diesel entfiel im Jahr 2009 knapp ein Drittel des Gesamtverbrauchs, auf Benzin ein Fünftel, auf Flugbenzin entfielen gut acht Prozent.

Öl ist als Heizenergie zwar seit Jahren auf dem Rückzug, dennoch wurden 2009 gut zwanzig Prozent der Einfuhr als leichtes Heizöl verbraucht.

Schweres Heizöl und Rohbenzin werden vor allem in der Industrie eingesetzt. Der Verbrauch ist etwa so groß wie der von leichtem Heizöl.

Mit Erdöl werden also rund 35 Prozent des Energiebedarfs gedeckt; damit ist Erdöl für die Energieversorgung wichtiger als jeder andere Rohstoff.

Für den Kraftfahrzeugverkehr gibt es zurzeit keine wirkliche Alternative. Die heutigen Motoren werden fast ausschließlich mit Benzin oder Diesel betrieben. Die Anstrengungen um Elektromobilität haben erste Erfolge erzielt, doch ist der Durchbruch zur umfassenden

Umstellung des Kraftfahrzeugs noch in weiter Ferne. Zahlreiche Probleme sind vor einer umfassenden Umstellung noch zu lösen. Als Stichworte seien das Problem von leistungsstarken Batterien und das damit zusammenhängende Problem der dafür notwendigen Rohstoffsicherung sowie die Herstellung eines flächendeckenden Versorgungssystems und gegebenenfalls die Einbindung der Elektrofahrzeuge in ein System von dezentralen Speichern für elektrischen Strom genannt.

Der Ölpreis und damit der Preis für Benzin und Diesel ist in den vergangenen Jahren mehr oder minder kontinuierlich gestiegen. Für die deutsche Wirtschaft sind das wegen der Importabhängigkeit Milliardenbeträge. Die meisten Ölvorkommen liegen im Nahen Osten, in Russland, Venezuela und Nigeria. Versorgungskrisen können daher nicht ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ist Erdöl ein endlicher Rohstoff. Die derzeit ausgebeuteten Vorkommen werden in absehbarer Zeit erschöpft sein. Große neue Vorkommen in den bekannten Ölförderländern wurden in der jüngeren Vergangenheit kaum entdeckt. Weitere bedeutende Vorkommen liegen in schwierig zu erschließenden Gebieten, wie in der Arktis und in großen Meerestiefen. Andere Vorkommen, wie die kanadischen Ölschiefer, sind nur mit erheblichem Aufwand aufzubereiten.

Die Europäische Union und die Vereinigten Staaten von Amerika verfügen über weniger als drei Prozent der globalen Erdölreserven, auf sie entfallen jedoch rund vierzig Prozent des Verbrauchs.

Zwar ist die Versorgung rechnerisch noch auf Jahrzehnte gesichert, doch befindet sich das Öl zu großen Teilen in den Händen von OPEC-Ländern. Weitere Vorkommen müssen mit hohem Aufwand und nachgewiesenem Risiko aus großen Meerestiefen gefördert werden. Die Tiefsee-Ölförderung ist wegen der immer knapper werdenden Reserven die wichtigste Erdölressource. Die fünf größten privaten Ölkonzerne – BP, Royal Dutch Shell, Exxon-Mobil, Chevron und Total – sind die Marktführer (Bild FAZ 27.7.2010, S. 15). Die Konzerne beabsichtigen, auch in Zukunft Öl aus großen Tiefen unter dem Meeresspiegel zu fördern. Hier seien zur Veranschaulichung einige Beispiele für Tiefsee-Ölprojekte genannt:

- Die meisten britischen Ölfelder in der Nordsee liegen in Gewässern von bis zu 250 Metern Tiefe, sie sind daher technisch weniger anspruchsvoll als die Projekte in tausend Metern Tiefe und mehr, jedoch auch nicht risikofrei.
- Vor allem im Goldenen Dreieck – zwischen dem Golf von Mexiko, Südamerika und Westafrika – wurden in den vergangenen Jahren große Öllagerstätten gefunden. Im Golf von Mexiko ist im Mai 2010 die Bohrplattform Deepwater Horizon des Energiekonzerns BP untergegangen, wodurch die schwerste durch Öl verursachte Umweltkatastrophe der amerikanischen Geschichte ausgelöst wurde. Die bis Ende Juli 2010 ausgelaufene Ölmenge wird auf mindestens achthundert Millionen Liter geschätzt. Die bis dahin aufgelaufenen finanziellen Verpflichtungen des Konzerns werden mit mehr als dreißig Milliarden US-Dollar veranschlagt. Der gesamte wirtschaftliche Schaden für die Vereinigten Staaten kann bei siebzig Milliarden US-Dollar liegen.
- Der britische Energiekonzern BP beabsichtigt, im Mittelmeer vor Libyen mit neuen Ölbohrungen in 1.900 Metern Tiefe zu beginnen; das sind vierhundert Meter mehr als im Fall der im Golf von Mexiko untergegangenen Bohrplattform Deepwater Horizon. Die geplanten fünf Bohrlöcher im Golf von Syrte liegen nur wenige hundert Kilometer vor der Südküste Italiens.
- Im Nordatlantik, im Westen der Shetland-Inseln wird in bis zu 1.200 Metern Wassertiefe gebohrt; in Zukunft könnten sogar bis zu dreitausend Meter erreicht werden.

- Die Arktis ist eine der letzten noch weitgehend unerkundeten Regionen der Welt. Bei Grönland soll zukünftig in tiefer See gebohrt werden. Die Regierung hat im Juni 2010 eine erste Lizenz für Probebohrungen erteilt. Ein Ölunfall in den kalten Gewässern wird als ökologisch noch gefährlicher als im Golf von Mexiko eingeschätzt, weil auslaufendes Öl bei niedrigen Temperaturen langsamer als in warmen Gewässern abgebaut wird.

Die Ölbranche wird sich wegen der nun offensichtlichen Risiken voraussichtlich auf stärkere Regulierungen durch die Aufsichtsbehörden einstellen müssen. Dies bezieht sich sowohl auf die Bohrverfahren als auch auf die Entwicklung neuer Geräte für das Auffangen von bei Unfällen ausgelaufenem Öl. Allerdings reagieren die wichtigsten Ölförderländer zurzeit unterschiedlich.

Zuletzt und nachdrücklich hat die Katastrophe im Golf von Mexiko gezeigt, dass die Abhängigkeit vom Erdöl verringert werden muss. Das ist nicht nur ökologisch geboten, sondern auch wirtschaftlich zwingend.

Will der Westen auf Dauer weder die zunehmende Abhängigkeit von den OPEC-Staaten akzeptieren noch das Risiko weiterer Umweltkatastrophen in Kauf nehmen, bleiben nur die Optionen, mit Öl sparsamer umzugehen und die Nutzung anderer Energieträger für die bisherigen Einsatzbereiche von Erdöl voranzutreiben.

Deutschland verfügt über keine nennenswerten Ölvorkommen, daher werden trotz des zunehmenden Einsatzes von Bio-Öl auf absehbare Zeit etwa 97 Prozent des Verbrauchs aus dem Ausland gedeckt werden müssen.

Die OPEC als Kartell großer Förderländer trug ein Fünftel zur Versorgung bei. Aus der Nordsee stammen mehr als ein Viertel, aber die Hälfte kommt aus den Ländern der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten. Die Liste der Lieferanten wird von Russland mit 35,4 Prozent vor Norwegen mit vierzehn Prozent angeführt, danach kommen Großbritannien mit zehn Prozent sowie mit Abstand Libyen, Kasachstan, Aserbaidschan und Nigeria.

In der Klimapolitik spielt der Ölverbrauch bislang eine untergeordnete Rolle; Aspekte sind: die Debatte um das Elektroauto, Verbrauchsminderung von Motoren und die Besteuerung von Flugbenzin.

Schon heute ist die Steuerlast auf Benzin und Diesel hoch. Allein aus der 1999 eingeführten Ökosteuer werden mehr als sechzehn Milliarden Euro zur Rentenversicherung verwandt und dies nutzt der Entwicklung von Alternativen nicht.

Mineralöl ist seit vielen Jahren mit Abstand der wichtigste Primärenergieträger für die deutsche Volkswirtschaft.

3.2.3. Erdgas

Die Bedeutung von Erdgas wird für Unternehmen und Haushalte in Anbetracht des Ausstiegs aus der Kernenergie weiter zunehmen. Über die Versorgung sicherstellende eigene Vorräte verfügt Deutschland nicht, das Land ist wesentlich von Importen abhängig. Mit der Fertigstellung des ersten Strangs der Ostsee-Pipeline Nord Stream wird die Liefersicherheit erhöht und zugleich die Abhängigkeit von Russland verfestigt, das schon heute der größte Gaslieferant Deutschlands ist. Mit der 1.224 Kilometer langen und 7,4 Milliarden Euro teuren Unterwasser-Pipeline vom russischen Hafen Wyborg bis zum deutschen Hafen Lubmin wird der Anteil des in Deutschland verbrauchten Erdgases von derzeit mehr als einem Drittel weiter zunehmen.

Erdgas ist der klimafreundlichste fossile Energieträger. Bei der Verbrennung entsteht weniger Kohlendioxid als bei Kohle oder Öl. Außerdem wird die Reichweite der Gasvorkommen

auf mindestens sechzig Jahre geschätzt, bei Öl liegen die derzeitigen Schätzungen bei etwa vierzig Jahren. Als weiterer Vorteil gilt, dass Gas einen wesentlichen Beitrag zur Sicherheit der Stromversorgung leisten kann, weil Gaskraftwerke sich schnell an- und abfahren lassen. Dadurch können die Schwankungen beim Windstrom ausgeglichen werden.

Weltweit verfügen nur wenige Länder über bedeutende Gasvorkommen. Entsprechend groß ist die Abhängigkeit Deutschlands, das rund vierzig Prozent seines Erdgasbedarfs von Russland bezieht. Problematisch ist zudem die Preisbindung an den Ölpreis. Je teurer Erdöl wird, desto teurer wird auch Erdgas. Einige Betreiber von Gaskraftwerken befürchten, dass sich einige Anlagen kaum rentieren. Private Haushalte, die mit Gas heizen, haben dasselbe Problem, weil Gas kaum günstiger als Öl ist. Auch für den Kraftverkehr stellt Erdgas keine wirkliche Alternative dar, weil der Preisvorteil gegenüber Benzin und Diesel nur durch die steuerlichen Begünstigung verursacht wird.

Der Verbrauch von Erdgas hat in den letzten Jahren stark zugenommen – vor allem für Wärme in privaten Haushalten, wo Gas das Heizöl immer mehr verdrängt.

In der Liste der Primärenergieträger lag Erdgas in Deutschland mit 21,8 Prozent knapp hinter der Kohle, dürfte diese aber überholen.

Bei einer insgesamt schwächer werdenden Energienachfrage wächst der Anteil von Gas.

Ein Drittel des Aufkommens von 885 Milliarden Kilowattstunden gingen 2008 nach Angaben des BDEW an Haushalte, die Gas zum Heizen und Kochen verwenden. Weitere fünf Prozent werden zur Fernwärmeerzeugung verwandt, knapp die Hälfte aller Wohnungen verfügte 2009 über eine Gasheizung.

Fast zwei Drittel des Aufkommens verbrauchte die Wirtschaft, davon die Hälfte die Industrie.

Ein wachsender Anteil von zuletzt dreizehn Prozent des Gasverbrauchs wurde zur Stromerzeugung verwandt. Dieser Anteil dürfte weiter steigen, denn die flexiblen Gaskraftwerke gelten als gute Ergänzung für Erneuerbare Energien mit ihrer schwankenden Stromerzeugung.

Bei der Verbrennung von Erdgas entsteht weniger Kohlendioxid als bei der Verbrennung von Kohle. Gaskraftwerke benötigen damit zur Stromumwandlung weniger CO₂-Zertifikate, was ein Preisvorteil ist.

Die Gasvorkommen in Deutschland sind erschöpft. Weit mehr als achtzig Prozent des benötigten Erdgases müssen aus dem Ausland eingeführt werden. An erster Stelle der Lieferanten steht Russland, auch wenn dieser Anteil 2009 krisen- und witterungsbedingt auf 32 Prozent zurückging, während er im Vorjahr noch bei 37 Prozent lag.

Norwegen kam für 20 Prozent, die Niederlande für 19 Prozent der deutschen Versorgung auf.

Weil die europäischen Vorkommen in absehbarer Zeit weniger werden, die Nachfrage nach Gas aber steigen dürfte, wird die Importabhängigkeit von Russland wachsen.

Kurzfristig sollen weitere Speicher Deutschland gegen politisch oder wirtschaftlich bedingte Lieferausfälle rüsten, langfristig soll eine weitere Diversifikation der Lieferanten und Lieferwege die Versorgungssituation sicher machen. Dabei spielen die neuen Pipelines, wie die Ostseeleitung, aber auch die geplante Leitung South-Stream-Nabucco eine Rolle.

Einen wachsenden Einfluss hat verflüssigtes Erdgas, das aus Produzentenländern wie Katar, Nigeria und Norwegen mit Schiffen nach Europa transportiert wird.

Neue Fördertechniken sollen helfen die Gasvorkommen besser auszubeuten, was den Gaspreis weiter unter Druck setzen wird.

4. Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien – das sind nicht nur Biomasse-, Biogas-, Wind-, Solar- und Geothermiekraftwerke. Das sind auch Kraftwerke auf der Basis von Ersatzbrennstoffen und Abfällen, die hohe Anteile an regenerativen Energieträgern enthalten. Die Abfallwirtschaft hat sich systematisch von der Entsorgungswirtschaft zu einer Mittlerposition zwischen Entsorgung und Versorgung entwickelt; das betrifft die Bereiche Rohstoffe und Energie, begünstigt durch die Zwangssituation des notwendigen sicheren – d.h. auch hygienischen und klimaschonenden – Umgangs mit Abfällen unter Nutzung der darin enthaltenen Ressourcen.

Zahlreiche Unternehmen, die ihre Aktivitäten nur oder zu erheblichem Anteil im Bereich der energetischen Abfallverwertung hatten, beschränken sich heute nicht mehr auf ihr ursprüngliches Aufgabenfeld. Nicht selten betreiben sie auch Wind-, Biomasse-, Biogas- und Solaranlagen. Fast alle auch in der Abfallwirtschaft tätigen Energiekonzerne und auch zahlreiche kommunale Unternehmen haben diesen Trend schon lange erkannt und die Nutzung Erneuerbarer Energien einschließlich der Abfälle in ihre Strategie einbezogen und in diese Bereiche kräftig investiert.

In welchem Maße können die Erneuerbaren Energien zur sicheren Energieversorgung in Deutschland beitragen? Die Schätzungen liegen weit auseinander. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hält hundert Prozent Erneuerbare Energien bis 2050 für möglich. Der Bundesverband Erneuerbarer Energien hält einen Anteil von fünfzig Prozent Ökostrom am gesamten Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2020 für erreichbar. Die Bundesregierung gibt das Dreißig-Prozent-Ziel vor. Vertreter der Energiewirtschaft vertreten die Meinung, dass bei größten Anstrengungen bis 2020 nur rund 25 bis dreißig Prozent des benötigten Stroms aus Erneuerbaren Energien erzeugt werden können. Von allen prognostizierten Zielen sind wir noch weit entfernt – trotz eindrucksvoller Erfolge. Aber der Energiebedarf wird voraussichtlich weiter steigen, trotz effizienteren Energieeinsatzes. Insbesondere die Grundstoffindustrie ist auf sichere und kostengünstige Energieversorgung angewiesen.

Folglich sieht die Energiewirtschaft die Gefahr einer Stromlücke und steigender Energiepreise.

Auch wenn die ehrgeizigen Ziele nur annähernd erreicht werden sollten, wird dies nicht problemlos gehen. Als Beispiele seien die Themen Versorgungssicherheit, Netzstabilität, technische Performance, Finanzierung und Anlagengenehmigung genannt.

Literatur

- Beckereit, M.: Neue Energie für Hamburg. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 99-104
- Beckmann, M.; Hurtado, A.: Energieversorgung der Zukunft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 225-237
- Beckmann, M.; Pieper, C.: Erneuerbare Energien – Entwicklungen und Perspektiven. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 3-21
- Billotet, T.: Strategie zur Nutzung alternativer Energieträger. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 57-65
- Bognar, K.; Behrendt, F.: Nutzung erneuerbarer Energien im Zusammenhang mit der Meerwasserentsalzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 153-171

- Briese, D.: Eigentümerstrukturen bei Anlagen für erneuerbare Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 213-221
- Faulstich, M.: Wege zur hundertprozentigen Stromversorgung aus erneuerbaren Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 23-32
- Felsmann, C.: Regenerative Energiequellen in der kommunalen Energieversorgung – Potentiale und Grenzen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 95-106
- Gassner, H.: Beitrag der erneuerbaren Energien im zukünftigen Energiemix. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 77-91
- Gaßner, H.: Strategie der Energieversorgung 2020. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 81-92
- Hey, C.: Hundert Prozent erneuerbare Stromversorgung bis 2050 – klimaverträglich, sicher bezahlbar. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 45-59
- Knies, G.; Timm, G.; Führ, F.; Schön, M.; Straub, M.: Wie können zehn Milliarden Menschen auf dieser Erde leben? – Das Desertec Konzept. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 33-42
- Kuhlmann, A.: Anmerkungen zur energiepolitischen Debatte im Herbst 2010. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 69-79
- Leipprand, A.; Sterner, M.; Faulstich, M.: Hundert Prozent erneuerbare Energien bis 2050?. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 3-21
- May, F.: Marketing Electricity Clean – Strategien in eine klimafreundliche Zukunft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 67-76
- Riedle, K.; Hake, J.-F.; Martinsen, D.; Hencke, E.-G.: Vergleich von Energieszenarien für das Jahr 2050. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 33-49
- Rudloff, S.; Ruéb, G.: E.ON Climate & Renewables: Entwicklung der Erneuerbaren Energien vom Boutique-Maßstab zum Industriestandard. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 87-96
- Schlömann, M.: Förderung erneuerbarer Energien durch die KfW Bankengruppe. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 153-156
- Schmid, T.: Zusammenspiel regenerativer und konventioneller Stromerzeugung zum Erreichen der Ziele für die Energieversorgung und für den Klimaschutz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 67-86
- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Chancen und Risiken der Energieversorgung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 3-42
- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Stolpersteine und Akzeptanz bei der Umsetzung der Energiewende. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 51-66

- Uecker, B.: Initiierung von Erneuerbare-Energie-Projekten am Beispiel von Biogasanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 277-289
- Vahrenholt, F.; Gassner, H.: Die Energie der Zukunft – Ein Blick in das Jahr 2050. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 61-67
- Versteyl, A.: Rechtliche Instrumente zur Standortsicherung von Energieversorgungsanlagen und zum Ausbau erneuerbarer Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 107-120
- Ziegahn, K.-F.: Versorgungssicherheit mit nachhaltigen Energiesystemen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 23-31

4.1. Windenergie

Die Bundesregierung kann die Klimaziele und die Beendigung der Stromerzeugung durch Kernkraft nur durch den zügigen Ausbau der Onshore- und Offshore-Windanlagen erreichen. Daher basiert in Deutschland die Umstellung auf Erneuerbare Energien im Wesentlichen auf der Windenergie, und zwar zunehmend auf Offshore-Anlagen. Dreißig Meereswindparks sind in Deutschland bereits genehmigt, ihr Bau ist nicht mehr aufzuhalten.

Das Testfeld *Alpha Ventus* in der Nordsee mit einer Kapazität von sechzig Megawatt war bis April 2011 der erste und einzige deutsche Offshore-Windpark in Betrieb. Der erste kommerzielle Offshore Windpark *Baltic 1* von EnBW in der Ostsee liegt 16 Kilometer vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern und hat eine Kapazität von dreißig Megawatt; er wurde am 2. Mai 2011 in Betrieb genommen [FAZ vom 3. Mai 2011, S. 12].

Der Strom von *Baltic 1* wird über eine Umspannplattform und durch ein sechzig Kilometer langes Seekabel zur Küste, dann durch ein Landkabel zum Umspannwerk Bentwisch und von dort in das Übertragungsnetz geleitet werden.

EnBW bereitet die Errichtung eines weiteren Windparks in der Ostsee 32 Kilometer vor Rügen vor. Die Kapazität dieses Parks mit achtzig Windrädern soll sechsmal größer sein als die von *Baltic 1*. Der Bau soll 2012 beginnen; in 2013 soll die Anlage ans Netz gehen. Die Investition für die beiden EnBW-Parks soll 1,2 Milliarden Euro betragen.

Noch im Jahr 2011 soll in der Nordsee *Bard 1* mit zwei- bis dreihundert Megawatt hinzukommen. Gegenwind kommt vom Naturschutz und von potentiell Betroffenen.

Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) will offensichtlich die Erweiterung des bereits genehmigten Windparks *Sandbank 24* nicht erlauben [FAZ vom 10.3.2011, S. 18]. Der mögliche Einspruch des Bundesamts ist nicht prinzipiell gegen den Ausbau der deutschen Offshore-Windenergie gerichtet, sondern zunächst nur konkret gegen das Projekt *Sandbank 24 Extension*. Allerdings nimmt die Verunsicherung bei den Projektentwicklungsgesellschaften, Investoren und Energiekonzernen zu, die die Windparks betreiben wollen. Zudem wird darauf verwiesen, dass in Dänemark und England die genehmigungsrechtlichen Hürden niedriger als in Deutschland sind.

Die Hersteller von Windanlagen betonen, dass gesicherte Erkenntnisse über das Verhalten von Tieren und Pflanzen in der Nähe von Offshore-Windparks noch gar nicht vorliegen können. Ein weiterer Kritikpunkt dieses Industriezweigs betrifft die Lärmvorschriften zum Schutz von Schweinswalen beim Einrammen der Verankerung der Anlagen auf dem Meeresboden; der Lärm darf in einer Entfernung von 750 Metern maximal 160 Dezibel erreichen. Der dafür notwendige Schallschutz müsse noch entwickelt werden; er werde jedenfalls den Bau der Anlagen wesentlich verteuern.

Technische Entwicklungen

Die Windenergie wird für die Stromerzeugung in großtechnischem Maßstab erst seit etwa dreißig Jahren eingesetzt, sie weist noch erhebliches Entwicklungspotential auf. Die Windanlagen werden zukünftig höher, die Rotorblätter werden länger, die Turbinen leistungstärker und die Steuerung differenzierter werden.

Geplant sind riesige Turbinen von zwanzig Megawatt. Mit einer Nabenhöhe von 153 Metern und einem Rotordurchmesser von 250 Metern würde diese Anlage alle bisher betriebenen Windanlagen überragen. Technische Voraussetzung ist, dass Turm und Rotorblätter in Leichtbauweise gefertigt werden. Dafür sollen Werkstoffe entwickelt und eingesetzt werden. Schon jetzt können die Flügel von fünfzig auf 58 Meter verlängert werden, ohne dass ihr Gewicht zunimmt.

Damit wird auch die Leistung steigen. Geplant sind Offshore-Anlagen für eine Leistung von sechs statt bisher fünf Megawatt pro Einheit und Onshore-Anlagen von drei statt bisher 2,5 Megawatt. Für Standorte mit begrenzter Netzkapazität sollen kleine Anlagen mit 1,6 Megawatt wettbewerbsfähig werden. Für Standorte mit schwachen Windverhältnissen sollen höhere Türme gebaut werden, wodurch die Stromerzeugung wirtschaftlicher werden soll. Mit einem Turm von 140 Metern Höhe können fünfzig Prozent mehr Strom erzeugt werden als mit einem solchen von neunzig Metern Höhe. Schon jetzt werden 128 Meter hohe Türme angeboten, mit denen auch Waldgebiete erschlossen werden könnten. Auch sollen ältere Anlagen durch höhere und leistungstärkere Anlagen ersetzt werden, so dass am gleichen Standort bis zu dreifach höhere Energieerträge als derzeit erzielt werden können.

Marktentwicklung

Für das weitere Wachstum hat die Windbranche die Hoffnung, dass die bislang geltenden Höhen- und Abstandsregelungen fallen werden und dass in Waldgebieten vermehrt Windanlagen errichtet werden können. Hier ist allerdings erheblicher Widerstand aus der Bevölkerung und vom Naturschutz zu erwarten.

Zurzeit wird der Markt für Windanlagen von mittelständigen Unternehmen dominiert, die wegen ihres Technologievorsprungs die chinesische Konkurrenz weniger fürchten als die von Industriekonzernen wie Siemens und General Electric, weil diese ihre Größenvorteile – Einkaufsmacht und Finanzierungsangebote – ausspielen können [FAZ v. 11.4.2011, S. 17].

Literatur

- Bessau, D.: Ein starker Heimatmarkt ist Voraussetzung für erfolgreichen Export. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 157-163
- Briese, D.; Meyer, C.: Transport, Logistik und Häfen für die Offshore-Windenergie. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 353-361
- Briese, D.: Windenergie – Wunsch und Wirklichkeit. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 43-55
- Borstelmann, N.: Chancen für den Export deutscher Windkrafttechnologien. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 433-439
- Buddenberg, J.; Hube, W.; Burkhardt, C.: Wirtschaftlichkeit von Offshore Windparks in Deutschland – Erfahrungen aus dem Testfeld alpha ventus und Konsequenzen für die Offshore Windenergie –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 377-387

- Durstewitz, M.; Lange, C.: RAVE – Die Forschungsinitiative im ersten deutschen Offshore-Windpark alpha ventus. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 333-351
- Faber, T.; Klinke, L.: Technische Entwicklung der Windenergieanlagen und Perspektiven. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 355-363
- Geßner, J.: Die Verdichtung bestehender Windparks. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 367-375
- Hermann, M.: Windkraft – Ertragssteigerung durch Betriebsoptimierung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 365-366
- Huhn, H.; Faulstich, S.; Hüßler, I.; Jakomeit, J.-U.; Hahn, B.: Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen an Binnenstandorten und unter Offshore-Bedingungen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 471-482
- Kempmann, J.: Netzstabilität und Verfügbarkeit von Kraftwerken – Einfluss der Windenergie. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 215-220
- Kleidon, A.; Gans, F.; Miller, L.; Pavlick, R.: Sonne, Wind und Wellen – Natürliche Grenzen erneuerbarer Energien im Erdsystem. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 463-470
- Kriener, A.: Technologien für Offshore-Windturbinen – Anforderungen der Betreiber. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 551-561
- Kuhbier, J.: Rahmenbedingungen und Entwicklung der Offshore-Windkraft in Deutschland. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 121-129
- Lohse, O.: Projektfinanzierung im Markt für erneuerbare Energien – Herausforderungen im Bereich Offshore Wind. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 221-238
- Millat, J.: Offshore-Windenergienutzung im Küstenmeer – Genehmigungsverfahren nicht ohne Tücken. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 145-169
- Riese, C.: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Errichtung von Offshore-Windparks. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 131-143
- Schlegelmilch, K.: Windenergie und die Netzintegration von Erneuerbaren Energien in Deutschland und international. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 327-332
- Schrader, K.; Schemm, R.: Marktparität erneuerbarer Energie aus Wind und Photovoltaik. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 209-214
- Wiese, A.: Perspektiven der Wirtschaftlichkeit von Wind- und Solarkraftwerken im Vergleich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 197-207

4.2. Photovoltaik und Solarthermie

In Deutschland gingen im Jahr 2010 mehr Photovoltaik-Anlagen ans Netz als in allen vorherigen Jahren. Diese Steigerung wird sich voraussichtlich als eine vorübergehende Erscheinung erweisen, weil noch die hohen Subventionen mitgenommen werden, bevor sie zurückgefahren werden und so die Renditen sinken.

Früher wurde die jährliche Errichtung von Photovoltaik-Anlagen in Megawatt installierter Leistung angegeben. Im Jahr 2000 lag die neu installierte Gesamtleistung bei 42 Megawatt. Seither stieg die Ziffer um den Faktor tausend sprunghaft an; der Neubau wird heute in Gigawatt angegeben, wie aus den Daten der Bundesnetzagentur hervorgeht. In den ersten sechs Monaten des Jahres 2010 wurden in Deutschland Strom erzeugende Photovoltaik-Anlagen mit einer Gesamtleistung von mehr als drei Gigawatt errichtet. Dies entspricht in etwa der Leistung des gesamten Jahres 2009 von 3,8 Gigawatt.

Ein Ende der Entwicklung zeichnete sich nach Meinung der Bundesnetzagentur nicht ab: Die Agentur verzeichnete in den letzten Wochen des ersten Halbjahres 2010 eine Flut von Datenmeldungen. Die Anlagenbetreiber sind seit Januar 2009 verpflichtet, die Bundesnetzagentur über Standort und Leistung neuer Anlagen zu informieren. Von Januar bis Juni 2010 gingen etwa 135.000 Datenmeldungen ein, davon gut 50.000 im Juni.

Nach Bestimmung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) erhalten die Betreiber von Photovoltaik-Anlagen zwanzig Jahre lang eine feste Vergütung für den Strom, den sie ins öffentliche Stromnetz einspeisen. In Abhängigkeit von den Kosten der Anlage ergeben sich bis zu zweistellige Renditen. Dies ist günstig für den Besitzer der Anlage, teuer für die Stromkunden, die die Einspeisevergütung mit ihren Stromrechnungen finanzieren und verursacht Probleme bei Kraftwerks- und Netzbetreibern.

Die u.a. politisch gewollte Förderung der Erneuerbaren Energien hat offensichtlich bei den Einspeisevergütungen für Strom aus Photovoltaikanlagen eine Überförderung verursacht. Dies hat die Bundesregierung korrigiert. Im Laufe des Jahres 2010 sanken die Zuschüsse in zwei Stufen, und zwar im Juli und Oktober 2010 um 16 Prozent. Daher investierten zahlreiche Bauherren in Photovoltaikanlagen, um noch in den Genuss der höheren Fördersätze zu kommen. Folglich produzierten Hersteller dieser Anlagen zeitweise am Rand ihrer Kapazitäten. Hier einige Beispiele:

- SolarWorld verbuchte im zweiten Quartal 2010 einen Rekordumsatz von 383 Millionen Euro.
- SMA in Niestetal bei Kassel erhöhte die Geschäftsprognose für 2010.
- Der Umsatz des Solarherstellers Phoenix Solar ging im zweiten Quartal 2010 um 145 Prozent nach oben.

Dieser Auftragsschub war jedoch nicht von Dauer. Nach dem Rekordjahr 2010 hat das Interesse nachgelassen, weil sich bis 2012 die Solarstromförderung in etwa halbieren wird. Die unterjährige Anpassung der Einspeisevergütung im Jahr 2011 entfällt, weil der Zubau von Photovoltaikanlagen bis Mai 2011 recht verhalten war.

Die Branchenumsätze müssen sich bis 2012 nicht ebenfalls halbieren, weil die Anlagen voraussichtlich durch effizientere Produktion und Kostensenkung der Module für die Kunden preiswerter werden. Zwischen 2006 und 2008 hat sich der Preis für die Endkunden zunächst langsam nach unten bewegt: 2006 kostete eine Aufdach-Anlage etwa 5.000 Euro pro installiertem Kilowatt, 2008 waren es 4.275 Euro, das entspricht einer Preissenkung von weniger als zehn Prozent pro Jahr. Zum Jahresbeginn 2009 waren es 3.922 Euro und

2.864 Euro zum Jahresbeginn 2010; das bedeutet eine Preissenkung von 27 Prozent in einem Jahr. Die Entwicklung kann weiter gehen. Ursache ist der globale Wettbewerb. Deutschland besetzt nicht mehr seine viele Jahre gehaltenen Spitzenpositionen. Asiatische Anbieter haben nicht nur als Zellenproduzenten aufgeholt, sondern auch als Hersteller ganzer Module.

Kritiker werfen deutschen Produzenten vor, zu langsam und zu spät auf die veränderten Bedingungen reagiert zu haben. Firmen in China und Malaysia haben geringere Kosten und liefern inzwischen mindestens die gleiche Qualität wie deutsche Unternehmen.

China hat seinen Anteil am Umsatz von 2006 bis 2009 von rund 21 auf 32 Prozent ausgebaut, die Amerikaner von 9 auf 21 Prozent. Der deutsche Umsatzanteil schrumpfte von 53 auf 31 Prozent.

In diesem Tempo muss die Entwicklung nicht weitergehen, allerdings werden sich auch die deutschen Hersteller auf sinkende Einspeisevergütungen und damit auf preisbewusste Kunden einstellen müssen. Für das Zurückfahren der Einspeisevergütung spricht auch, dass die deutschen Stromkunden nicht Unternehmen in China und Malaysia fördern müssen.

Die bekannteste und am weitesten verbreitete Technologie zur Umwandlung der Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie ist die Erzeugung von elektrischem Strom durch Photovoltaik, also mit Solarzellen, in denen der elektrische Strom durch den photochemischen Effekt erzeugt wird.

Wegen der hohen Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ist die installierte Photovoltaik-Kapazität in Deutschland progressiv gestiegen; sie betrug Ende 2009 etwa 9,8 GW. Motivation für den starken Zubau waren in erster Linie die hohen Einspeisevergütungen, die ursprünglich vierzig Cent pro Kilowattstunde betragen.

Die Förderung für Dachflächenanlagen wurde zum 1. Juli 2010 um 13 Prozent verringert, sie wurde zum 1. Oktober 2010 um weitere drei Prozent gekürzt. Zum Jahreswechsel 2010/2011 wurden die Fördersätze weiter abgesenkt. Die nächste Senkung der Einspeisevergütung folgt zum Jahreswechsel 2011/2012. Die Vergütungen für Strom aus Anlagen, die vor den genannten Stichtagen in Betrieb gingen oder gehen werden, bleiben zwanzig Jahre auf dem davor geltenden Niveau.

Geschätzt wird, dass sich die zugesagten Förderbeträge während dieser Zeiträume auf rund hundert Milliarden Euro addieren werden. Aufgebracht wird dieser Betrag von den Stromverbrauchern, die über die EEG-Umlage die Differenz zwischen dem Strompreis an der Börse und der Einspeisevergütung bezahlen. Im Jahr 2010 waren es 2,047 Cent pro Kilowattstunde. In 2011 wird sich dieser Betrag auf Grund des erwarteten Kapazitätsausbaus um voraussichtlich fünfzig Prozent erhöhen. Damit baut die Solarenergie ihren Spitzenplatz als Kostentreiber Nummer eins aus. In der Energie- und Kohlendioxidbilanz liefert sie keinen relevanten Beitrag, vielmehr handelt es sich um ein klassisches Beispiel für Überförderung.

Die Sonne ist eine ewige Energiequelle. Hätten alle in Deutschland eine Solaranlage, könnte ein großer Teil des hiesigen Strombedarfs gedeckt werden. Darüber hinaus lässt sich Sonnenenergie auch zur Warmwasseraufbereitung nutzen. Mit Solarkollektoren kann die herkömmliche Heizart ergänzt werden, so dass die Energiekosten sinken.

Die Sonne hat die gleichen Nachteile wie der Wind. Ihre Energie lässt sich nicht zu jeder Uhrzeit nutzen. Das größte Problem jedoch ist der Preis. Solarstrom wird mit milliardenschweren Subventionen gefördert und leistet bislang nur einen geringen Beitrag zur deutschen Stromversorgung. Schätzungen schwanken zwischen einem und zwei Prozent.

Literaturhinweise zu Photovoltaik und Solarthermie

- Behnke, K.; Polklas, T.; Schwarz, M. A.; Tuschy, I.; Vogelsang, A.: Entwicklungslinien bei Wasserdampf-Kreisläufen und Dampfturbinen für solarthermische Kraftwerke. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 563-572
- Brendel, T.; Drück, H.; Heidemann, W.; Kerskes, H.; Müller-Steinhagen, H.; Pitz-Paal, R., Sattler, C.; Tammer, R.: Thermische Solartechnik für die Bereitstellung von Kälte, Wärme und Strom. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 239-253
- Bünder, H.: Solare Schlagseite, FAZ, 28.7.2010, S. 9
- Guder, C.; Neumann, D.: Solar Topping von Dampfkraftwerken. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 423-430
- Heide, S.; Gampe, U.; Freimark, M.; Gericke, B.: Der SHCC-Prozess mit indirekter Solarwärmeeinkopplung in die Gasturbine. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 467-482
- Hudec, B.; Hoppe, U.; Riedel, C.: Photovoltaik – technische Entwicklungen und Perspektiven. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 461-467
- Kleidon, A.; Gans, F.; Miller, L.; Pavlick, R.: Sonne, Wind und Wellen – Natürliche Grenzen erneuerbarer Energien im Erdsystem. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 463-470
- Knies, G.; Timm, G.; Führ, F.; Schön, M.; Straub, M.: Wie können zehn Milliarden Menschen auf dieser Erde leben? Das Desertec Konzept. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 33-42
- Koll, G.; Schwarzbözl, P.; Hennecke, K.; Hoffschmidt, B., Hartz, T.: Solarthermisches Turmkraftwerk in Jülich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 455-460
- Morin, G.: Electricity Generation with Solar Thermal Power Plants – Technology Overview, Optimization Potential and Economic Situation. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 283-301
- N.N.: Hausbesitzer sichern sich hohe Solarförderung, FAZ, 28.7.2010, S. 9
- Nyqvist, J.; Haje D.: Dampfturbinen für solarthermische Kraftwerke. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 313-323
- Nyqvist, J.; Haje, D.: Moderne Industriedampfturbinen und ihre Anwendung für solarthermische Kraftwerke. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 455-465
- Schnatbaum-Laumann, L.; Eckhoff, S.; Moormann, S.: Solarthermische Kraftwerke – Von der Entwicklung über die Finanzierung bis zur Umsetzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 437-453
- Schnatbaum-Laumann, L.; Gathmann, N.: Solarthermische Kraftwerke – Flexible Stromversorgung dank integriertem Speicher. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 255-268
- Schrader, K.; Schemm, R.: Marktparität erneuerbarer Energie aus Wind und Photovoltaik. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 209-214

- Schu, R.; Leithner, R.: Mehrstufige Dampfüberhitzung – Effizienzsteigerung von Ersatzbrennstoff-, Biomasse- und Solarthermiekraftwerken. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 209-246
- Schumacher, W.; Schwarzer, K.; Stukenbrock, P.; Rodriguez, N.: Entwicklung und Anwendungsgebiete solarthermischer Kraftwerke – Betriebsweise und Systemvarianten. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 401-434
- Schwarz, M. A.; Polklas, T.; Tümmers, C.; Behnke, K.; Witt, M.: Hochleistungsdampfturbinen für solarthermische Kraftwerke. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 403-409
- Vogelsang, A.; Tuschy, I.: Auswirkungen verschiedener technischer Parameter auf Einsatzmöglichkeiten und Ertrag solarthermischer Parabolrinnenkraftwerke. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 411-421
- von Plate, M.: Parabolic Trough Power Plants based on Direct Steam Generation – New opportunities for solar thermal energy production. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 303-312
- Wiese, A.: Perspektiven der Wirtschaftlichkeit von Wind- und Solarkraftwerken im Vergleich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 197-207

4.3. Biomasse

Die öffentliche Diskussion verkürzt sich häufig auf die Fragen *Tank oder Teller* oder *Landwirt oder Energiewirt* [FAZ, 12.03.2011, Nr. 60, S. 13].

Aus für die Energiewandlung geeigneten pflanzlichen Rohstoffen können auch Kosmetika, technische Fette oder Kunststoffe hergestellt werden. Als Nahrungsmittel eignet sich nur ein Teil der Pflanze, es fallen Koppelprodukte und Reste an, die wiederum verschiedene Verwendungen finden – sie werden als Nährstoff untergepflügt, kommen in den Ofen, die Biogasanlage oder auf den Kompost. Häufig weiß der Landwirt selbst nicht, was aus welchem Teil seiner Ernte gemacht wird. Der Anbau von Energiepflanzen wird nicht beim Landwirt gefördert, subventioniert wird die Verwendung für die Erzeugung von Strom, Gas, Treibstoff, Wärme oder eine Kombination aus diesen.

Die Entscheidung über die Verwendung seiner Produkte für *Tank* oder *Teller* fällt dem Landwirt nicht immer leicht. Die Erzeugerpreise für die wichtigsten Nahrungsmittel schwanken, doch ist der Trend langfristig steigend. Bioenergie-Unternehmen sind an langfristigen Lieferverträgen interessiert, weil die Verwertungsanlagen kontinuierlich und möglichst bei festen Rohstoffkosten betrieben werden sollen, damit die Investitionen rentabel sind. Anbau und Vertrieb von Energiepflanzen sind für die Landwirtschaft nur ein zusätzlicher Absatzmarkt, der vom einzelnen Landwirt nicht oder schwer zu durchschauen ist. Für das Verständnis der zahlreichen Vorschriften, Auflagen und Fördermöglichkeiten ist der Landwirt auf fachkundige Berater angewiesen – die mit ihren Ratschlägen nicht immer richtig liegen. Die Ansicht, der Landwirt brauche nur die Hand aufzuhalten, kontrastiert mit den Klagen der Betroffenen, ihre Pläne zu Investitionen in die Energieerzeugung seien wegen der unübersichtlichen Bürokratie gescheitert.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bietet den Landwirten Möglichkeiten, auf ihren Flächen Windkraftanlagen oder Solaranlagen aufzustellen, sofern die Behörden es zulassen. Auf zahlreichen landwirtschaftlich nutzbaren Flächen wurden schon Photovoltaikanlagen aufgestellt; mit sinkender Förderung können derartige Projekte weniger attraktiv werden,

sofern die Preise für Photovoltaikanlagen nicht im gleichen Maße sinken wie die Förderung abnimmt. Genau diese Entwicklung ist zurzeit – auch durch die Importe aus China – zu beobachten. Für Windkraftanlagen können sich landwirtschaftliche Betriebe zusammenschließen oder Flächen für zwei Jahrzehnte verpachten. Um das Fundament der Anlage kann der Ackerbau weitergehen.

Ein lohnendes Geschäft ist der Anbau von Energiepflanzen, insbesondere von Raps und Mais.

Durch Neuzüchtung wurde in den letzten Jahren **Raps** als Lebens- und Futtermittel attraktiv. Das Öl wird als Pflanzenöl gehandelt, allerdings ist aus Raps gewonnenes Öl ein Nebenprodukt. Hauptprodukt ist der Presskuchen, ein hochwertiges Futtermittel. Biodiesel wurde erfunden, um das überflüssige Rapsöl zu vermarkten. Mit der Kapazität von fast fünf Millionen Tonnen pro Jahr könnten mit der Biodieselerzeugung 18 Prozent des Dieserverbrauchs gedeckt werden. Die derzeitige Produktion in Deutschland reicht rechnerisch für knapp die Hälfte davon.

Raps harmoniert in der Fruchtfolge gut mit Getreide; mit seinem Anbau wird der Boden für den Getreideanbau vorbereitet.

Mais ist eine der ergiebigsten Pflanzen. Die Pflanze ist insbesondere dort interessant, wo Vieh gehalten wird, weil bei seiner Verwertung in Biogasanlagen die Vergütung für nachwachsende Rohstoffe mit dem Bonus für Gülle kumuliert werden kann. In Landstrichen mit Maisanbau haben die Pachtpreise angezogen. Biogas kann aus fast allen organischen Stoffen hergestellt werden, insbesondere aus homogenen Rohstoffen, wie Mais.

Bis zum Jahr 2020 sollen nach der Planung der Bundesregierung sechs Milliarden Kubikmeter Biomethan hergestellt werden, in 2010 waren es nur zweihundert Millionen Kubikmeter. Theoretisch möglich wären bei Nutzung aller Quellen acht Milliarden Kubikmeter.

Einige Energiepflanzen können als Zwischenfrüchte angebaut werden, so dass die Ackerfläche im Jahresverlauf zweimal genutzt werden kann, sofern der Boden, die Wasserversorgung und das Klima dies zulassen. Energiemais eignet sich als Zwischenfrucht, weil er in unreifem Zustand geerntet werden kann.

Für die Nahrungsmittelproduktion ist **Weizen** die wichtigste Sorte. Weizen kann auch verbrannt werden. Wegen der damit verbundenen Feinstaubentwicklung und Schlackebildung ist dies noch eine Ausnahme. Wirtschaftlich interessanter ist die Verwendung als Rohstoff für die Herstellung von Bioethanol. Weizen wird wegen seines Werts für die Ernährung als zu wertvoll für die Verwendung als Rohstoff für die Energiewandlung angesehen, aber auch aus ethischen Gründen wird er als Energiepflanze abgelehnt. Für die Ethanolproduktion aus Weizen sprechen die dafür erzielbaren Preise. Für Bioethanol, das dem Benzin beige-mischt wird, wird in Deutschland vor allem Weizen verwendet, wofür rund 3,5 Prozent der Anbaufläche benötigt werden. Etwa zwei Drittel des für Kraftfahrzeuge vorgesehenen Ethanols werden in Deutschland hergestellt, weil nicht genügend nachhaltig hergestellter Alkohol aus dem Ausland importiert werden kann.

Sojabohnen werden als Ölpflanze in Indonesien angebaut und zu Öl verarbeitet. Plantagen gelten wegen der Urwaldrodungen nicht als nachhaltig. Daher lassen sich große Hersteller ihre Nachhaltigkeit zertifizieren, wie die Europäische Union es fordert. Der Öl-Ertrag ist dreimal höher als der von Raps.

Zuckerrohr wird importiert werden, wenn zukünftig Zuckerrohrplantagen in Brasilien zertifiziert werden. Dann kann auch Ethanol von dort importiert werden. Die Produktionskosten für Ethanol sind in Brasilien zudem nur halb so hoch wie in Deutschland. Dagegen fallen die zusätzlichen Transportkosten nicht ins Gewicht.

Zurzeit wird versucht, aus **Zuckerrüben** Ethanol und Biogas zu gewinnen. Nach Extraktion des Zuckers soll der Rest zu Viehfutter verarbeitet werden. Zwar ist die Energieausbeute von Zuckerrüben größer als die von Weizen, doch sind Zuckerrüben wegen ihrer geringen Haltbarkeit bei der Lagerung nur einschränkt brauchbar.

Hoffnungen werden in die Produktion von Öl aus **Algen** gesetzt, Anbaufläche wäre das Meer.

Schnellwachsende Hölzer wie Weiden und Pappeln können auch auf entlegenen Flächen angepflanzt werden, weil sie wenig Pflege benötigen und erst nach einigen Jahren geerntet werden. Derartige Plantagen wurden im Mittelalter Niederwald genannt, heute werden sie als Energiewälder oder Kurzumtriebsplantagen bezeichnet. Das Holz kann zu Hackschnitzeln oder Pellets verarbeitet werden.

Zahlreiche als Biomasse bezeichnete Rohstoffe eignen sich für die Erzeugung von Bioenergie. Biomasse kann direkt verfeuert werden, zur Gaserzeugung für die Verbrennung in Gas-Motoren oder zu Biotreibstoffen – Biodiesel oder Bioethanol – verwendet werden. Biomass to Liquid (BtL) – synthetischer Treibstoff – kann theoretisch aus fast allen Pflanzen und Tierkadavern hergestellt werden, doch ist dafür homogenes Ausgangsmaterial notwendig. Produktionsreif im großen Maßstab ist das Verfahren noch nicht.

Für Lebensmittel taugliche Pflanzen sollen nach vorherrschender Meinung nicht zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Nur nicht als Lebensmittel geeignete Reste sollen zur Energiegewinnung beitragen. Dieser Grundsatz ist allerdings umstritten.

Die Lebensmittelpreise werden durch die Verwendung von Feldfrüchten für die Energieerzeugung in die Höhe getrieben, wie die Mais-Förderung in Amerika zeigt. Auch ist der mögliche Beitrag zur Energieversorgung eher bescheiden, selbst bei Nutzung der gesamten Agrarfläche der Welt könnten nur fünfzehn Prozent des Energiebedarfs gedeckt werden.

Wasserbeeinträchtigung

Deutschland verfügt über ausreichende Wasserreserven – 2,7 Prozent der Wasserressourcen werden für die öffentliche Wasserversorgung der Haushalte und kleinen Gewerbebetriebe genutzt. 14,5 Prozent benötigt die Industrie und 83 Prozent der Wasserressourcen werden nicht genutzt. Diese Angaben sind dem Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft entnommen [FAZ v. 22.3.2011, S. 12].

Die Wasserversorger klagen jedoch über die Wasserbelastung durch Pflanzenschutzmittel und Nitrate, die durch Pflanzendüngung in den Boden eingetragen werden und in das Grundwasser sickern. Schon heute ist absehbar, dass die Vorgaben der Europäischen Union zur Stickstoffbegrenzung bis 2027 nicht erreicht werden können. Daher sieht die Wasserwirtschaft die Pläne zum vermehrten Anbau von Energiepflanzen für die Verwertung als Biomasse sowie für die Herstellung von Biogas und Biotreibstoff kritisch. Insbesondere werden die intensive Düngung, die Nutzung stillgelegter Flächen und die Umwandlung von Grünland in Ackerland kritisch betrachtet.

Literatur zu Biomasse

Bette, M.; Schumacher, W.: Die Biomasse-Versorgungskette – integrative Lösungen der Brennstoffversorgung, -aufbereitung und angepasste Verbrennungstechnik für holzgefeuerte Kraftwerke großer Leistung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 3-36

Frühwald, A.; Diederichs, S.; Morgan, R. M.: Verwendungspotentiale heben durch Kaskadennutzung am Beispiel Holz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 37-50

- Gillner, R.; Pretz, T.: Produktion von Biomasse aus kommunalem Sperrmüll. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 161-170
- Groß, E.; Rotter, V. S.: Rückstände aus der Palmöl-Produktion – Aufkommen, Verwertungsmöglichkeiten als Biomasse und Kosten. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 337-354
- Gruber, T.: Emissionsarme Trocknung von Biomassen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 1055-1065
- Hempfen-Hermeier, U.: Mobile Technik zur Aufbereitung von Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 997-1004
- Hession, M.; McKendry, P.; Ermel, G.: Der Einsatz von Biomasse in Großbritannien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 97-109
- Höppner, F.: Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen in Deutschland und Europa. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 239-246
- Kapsa, K.: Zertifizierungssysteme für nachhaltige Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 247-260
- Marutzky, R.: Stoffliche und energetische Verwertung von Altholz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 985-995
- Seifert, H.: Karlsruher Konzepte zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 467-485
- Turk, T.; Hake, J.; Kern, M.; Idelmann, M.: Regionale Konzepte zur Biomassenutzung – unter Einbeziehung von Bio- und Grünabfällen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2006, S. 357-368

Biomasse – stoffliche Verwertung

- Behrendt, F.; Neubauer, Y.: Kraftstoffe aus Biomassen – Potentiale, Konzepte, Konkurrenzsituationen zur Verbrennung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2006, S. 229-243
- Behrendt, F.; Neubauer, Y.; Zobel, N.: Biomasse-Vergasung – Problemkomponenten und Analytik. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 85-93
- Benker, B.; Lindermeier, A.; Wollmann, A.: Technologie und Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Flüssiggas aus Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 21-39
- Biollaz, S.: Erzeugung von Erdgassubstituten (SNG) aus Vergasungsgasen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 337-346
- Böhning, D.; Klemm, M.: Katalytische Gasaufbereitung von Brenngas aus der Biomassevergasung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 519-540
- Böhning, D.; Klemm, M.; Beckmann, M.: Teerreduzierung im Vergasungsgas aus Biomasse durch katalytisch und nichtkatalytisch partielle Oxidation. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 349-364

- Böhning, D.; Beckmann, M.: Dezentrale Biomassevergasung – Teerabbau durch primäre und sekundäre Maßnahmen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 299-320
- Böhning, D.; Beckmann, M.: Katalytisch partielle Oxidation polyzyklisch aromatischer Kohlenwasserstoffe in Holzgas – Modell und Experiment. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 97-119
- Busch, G.; Burkhardt, M.; Sieber, M.: Optimierte Biogasgewinnung aus bioverfügbaren Stoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 541-557
- Chipatecua, G. P.; Seabra da Rocha, S.H.F.; Quicker, P.: Entwicklung von Biomasse-Koks als alternativer Energieträger für metallurgische Prozesse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 13-20
- Erich, E.: Dezentrale Vergasung von Biomasse – Verfahrensvarianten zur Erzeugung teerarmer Produktgase aus Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 503-517
- Hoffmann, M.; Jäger, J.; Müller, G.: Gewinnung von selektiven Vergärungsprodukten aus biologisch abbaubaren Siedlungsabfällen durch Mazeration. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 51-54
- Höhlein, B.; Stolten, D.: Methanol – ein neuer Energieträger für den Verkehr? In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 787-798
- Kamm, B.: Das Konzept der Bioraffinerie – Schlüssel für Ressourceneffizienz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 3-11
- Karl, J.: Dezentrale Vergasung von Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 365-372
- Kolb, T.; Seifert, H.; Zarzalis, N.; Santo, U.; Pantouflas, E.: Entrained-flow gasification of biomass-based slurry – Investigations on atomization and fuel conversion. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 385-397
- Leibold, H.; Seifert, H.: Energetische Aspekte bei der Heißgasreinigung von biomassebasierten Synthesegasen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 95-106
- Seifert, H.; Kolb, T.; Leibold, H.: Biomassebasierte Synthesegaserzeugung und -reinigung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 7. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 425-436
- Seifert, H., Kolb, T.; Leibold, H.: Syngas aus Biomasse – Flugstromvergasung und Gasreinigung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 123-134
- Urban, W.: Technologien und Kosten der Erzeugung von Erdgassubstituten auf Biomassebasis. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 621-631
- Vodegel, S.; Schindler, M.: Vergasung von Biomassen in einer zirkulierenden Wirbelschicht – Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 487-501

Biomasse – energetische Verwertung

- Beckmann, M.; Scholz, R.: Biomasse und Ersatzbrennstoffe als schwierige Brennstoffe. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2006, S. 105-137
- Beckmann, M.; Klemm, M.: Strategien der energetischen Biomassenutzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 51-70
- Beckmann, M.; Rostkowski, S.; Scholz, R.: Energieeffizienz der energetischen Biomassenutzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 265-281
- Beckmann, M.; Rostkowski, S.: Optimierung von Biomasse- und Abfallverbrennungsanlagen durch Monitoring. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 7. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 3-18
- Bernhardt, D.; Pohl, M.; Gebauer, K.; Unz, S.; Müller, M.; Beckmann, M.: Biogene Reststoffe zur Nutzung als holzpelletäquivalente Brennstoffe. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 57-69
- Bette, M.; Schumacher, W.: Die Biomasse-Versorgungskette – integrative Lösungen der Brennstoffversorgung, -aufbereitung und angepasste Verbrennungstechnik für holzgefeuerte Kraftwerke großer Leistung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 3-36
- Bräuer, H.; Bleeker, J.: Erste Betriebserfahrungen bei der Verbrennung von Biomasse im BMHKW Emden. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 277-296
- Carlowitz, O.; Vodegel, S.; Wollmann, A.: Energieeffizienz bei der energetischen Nutzung von Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 283-296
- Ehlers, F.: Umbau eines kohlebefeuerten Wirbelschichtofens für die Altholzverwertung – Biomassekraftwerk in Hameln. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 323-334
- Gierend, C.; Stauder, J.; Georg, S.: Untersuchung des Abbrand- und Emissionsverhaltens verschiedener biogener Brennstoffe in Kleinf Feuerstätten mittels IR-Kamera- und Abgasanalytik. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 71-95
- Gruber, T.: Verbrennung von Altholz, Altmöbeln und Sperrmüll – kombiniert mit stofflicher Nutzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierung der Abfallverbrennung 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004, S. 479-487
- Grundmann, J.: Erneuerbar, klimaneutral und nachhaltig – Vattenfall setzt auf Biomasse bei der Energieerzeugung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 109-116
- Günther, J.: Die Biomassekraftwerke und Biomasseheizwerke der MVV Energie. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2005, S. 539-566
- Günther, J.: Umsetzung von Unternehmensstrategien zur optimierten Energieversorgung unter Berücksichtigung des EEG – fünf Jahre Betriebserfahrung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 73-99
- Hentschke, H.: Erfahrungen bei der Genehmigung von Biomasseanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 183-196

- Hoffmann, D.: Wärmerückgewinnung ungenutzter thermischer Energie aus Rauchgasen in Biomassekraftwerken mittels innovativem CEECON-Konzept. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 345-353
- Horeni, M.; Walther, M.: Wirkungsgradsteigerung durch Anlagenverbund – Koppelung einer Kehrlichtverbrennungsanlage mit einem GuD-Kombikraftwerk und einem Holzheizkraftwerk – Das Projekt Bern Forsthaus. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 7. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 83-96
- Kern, M.; Raussen, T.: Biobrennstoffe aus Grünabfallfraktionen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2005, S. 567-582
- Kreutzkam, B.; Wieland, C.; Balan, G.; Gleis, S.; Spliethoff, H.: Abschätzung der Möglichkeiten und Grenzen zur Mitverbrennung biogener Brennstoffe in einem Steinkohlekessel. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 135-145
- Lenkens, M.; Köster, J.; Kloibhofer, P.: Heizkraftwerk Markinch – RWE Innogy errichtet größte Biomasseanlage Schottlands. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 53-62
- Morgenstern, U.: Feuerfeste Spezialmassen für Ersatzbrennstoff- und Biomasse-Verbrennungsanlagen – das Dünnschicht SiSiC-Plattensystem. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 227-242
- Nordmeyer, N.: Altholz zur Energieerzeugung am Beispiel des Projektes Borken/Hessen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 1005-1012
- Rasmussen, C.: Kraftwerkskonzept für Biomassen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 1049-1054
- Raussen, T.; Kern, M.: Potentiale und Verfahren der Bioenergiegewinnung in Deutschland. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2006, S. 203-227
- Sager, D.; Lorber, K. E.: Energetische Verwertung von Biomassen in Österreich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 251-275
- Schopf, N.: Energetische Nutzung flüssiger Nebenprodukte aus der Sojaverarbeitung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 121-130
- Schumacher, W.; Schwier, D.: Kosten der Biomasseverbrennung – Beschaffung, Betriebskosten, Erlöse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 309-334
- Seeger, K.: Stand der Technik bei Anlagen zur energetischen Verwertung von Altholz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 1033-1047
- Spiegel, W.; Herzog, T.; Jordan, R.; Magel, G.; Müller, W.; Schmidl, W.: Korrosion in Biomasseverbrennungsanlagen und Strategien zur Minimierung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 413-421
- Spiegel, W.; Herzog, T.; Kaiser, M.; Magel, G.; Müller, W.; Schmidl, W.: Korrosionsproblematik und Wärmestrommessungen in Biomassekraftwerken – Korrosionsvorbeugung und Schutzschichten. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 65-83

- Suritsch, N.: Biomasseverbrennungsanlagen – Immissionsschutzrechtliche und ökologische Aspekte. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 187-194
- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Wirbelschichtverfahren für die energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen und Biomassen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 145-211
- Thrän, D.: Energie aus Biomasse – Problemfelder und Forschungsnotwendigkeiten. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 399-410
- Vodegel, S.; Staab, W.-F.: Stroh zu Strom und Wärme. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 531-538
- Vodegel, S.; Beck, J.; Rettenmaier, N.: Biomasse + Logistik = Feuer + Wasser? In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 111-121
- Weber, I.: Altholzverbrennung im HKW Wilmersdorf. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 1013-1031
- Winkler, G.; Krüger, S.; Beckmann, M.: Herstellung von Biomassebriketts aus Fraktionen einer Kompostanlage. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2006, S. 335-355
- Winter, F.; Szentannai, P.: Der Einsatz von Biomasse und Ersatzbrennstoffen in Wirbelschichtfeuerungen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 299-307
- Zschunke, T.; Schneider, R.; Salomo, B.; Pfitzner, J.: Biomasse-Mikro-KWK: Eine Bestandsaufnahme. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 353-362

4.4. Biogas

Das Aufkommen an Bioabfällen liegt bei fast acht Millionen Tonnen pro Jahr, dazu tragen Abfälle aus der Biotonne sowie biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle jeweils etwa zur Hälfte bei.

Bei der Vergärung von Bioabfällen wird Biogas produziert, das energetisch verwertet wird. Die Sekundärabfälle aus diesen Verfahren können z.B. stofflich als Bodenverbesserungsmittel verwertet werden.

Vergärung

Vergärungsverfahren für Bioabfälle sind ein- oder zweistufig konzipiert.

Als Vorteile der Vergärung werden die Prozessführung in geschlossenen Reaktoren und damit geringere Emissionen sowie die Möglichkeit der energetischen Verwertung des Biogases genannt.

Erfahrungen aus etlichen Vergärungsanlagen im industriellen Maßstab, z.B. für Klärschlamm und Gülle, aber auch für Bioabfälle aus Haushalt und Gewerbe liegen vor. Die Entsorgungs- und Verwertungsprozesse sind abgasseitig emissionsarm. Für das Produkt Biogas gibt es kein Akzeptanzproblem, weil es sinnvoll verwertet werden kann, z.B. in Anlagen mit Wärme-Kraft-Kopplung.

Voraussetzung ist allerdings, dass das Biogas wegen der für den Bau von langen Gasleitungen zu geringen Menge und des im Vergleich zu Erdgas niedrigen Heizwerts in unmittelbarer Nähe zur Biogasanlage genutzt wird.

Der Gärückstand ist wiederum Abfall, der z.B. zur Verwertung als Bodenverbesserungsmittel aerob behandelt wird. Nachteile der Verwertung sind der im Vergleich zum Inputmaterial für die Kompostierung verminderte Gehalt an organischen Bestandteilen und die Konzentrierung von Schadstoffen, insbesondere von Schwermetallen im aus Gärückstand gewonnenen Kompost, der im Vergleich zu den Komposten aus nur aerob betriebenen Verfahren bei gleicher Inputqualität zwangsläufig geringere Qualität aufweist.

Literatur

- Baumann, T.: Was bringt die Vergärung in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen? In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 9. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, erscheint Januar 2012
- Boisch, A.: Biogasproduktion aus unterschiedlichen Bioabfällen in der Freien und Hansestadt Hamburg. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 153-159
- Brüß, U.: Aufbereitung von Gärresten und deren Verwertung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 375-384
- Burmeister, F.: Technische Grundlagen der Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze – Hintergrund, Regelwerk und Aspekte der Konditionierung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 611-620
- Busch, G.; Burkhardt, M.; Sieber, M.: Optimierte Biogasgewinnung aus bioverfügbaren Stoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 541-557
- Cuhls, C.; Mähl, B.; Clemens, J.: Emissionen aus Biogasanlagen und technische Maßnahmen zu ihrer Minderung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 147-160
- Dornack, C.: Biogas – Die Prozesskette von der Sammlung bis zur Abwasserentsorgung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 131-151
- Ewens, H.-P.: Umweltverträglichkeit von Biogasanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 291-300
- Gallenkemper, B.; Krummen, S.; Becker, G.: Geeignete biogene Abfälle für die Co-Vergärung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 649-656
- Gatena, J.: Marktentwicklung bei Biogas in Europa. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 267-275
- Gosten, A.: Verwertung von organischen Abfällen in Anlagen der BSR – Bericht über die Konzeption von Biogasanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 531-545
- Gosten, A.; Rücker, T.: Abfallvergärung und Biogasnutzung für den BSR-Fuhrpark. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 357-373

- Hein, T.: Biogas – Marktentwicklung und systematische Standortsuche. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 263-269
- Hoffmann, M.; Jager, J.; Müller, G.: Gewinnung von selektiven Vergärungsprodukten aus biologisch abbaubaren Siedlungsabfällen durch Mazeration. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 41-54
- Hülscher, M.: Thermochemische Verwertung von Gärresten. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 633-643
- Kanning, K.; Ketelsen, K.: Biogasaufbereitung zu Bioerdgas. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 183-198
- Kern, M.; Siepenkothen, J.: Potenziale für die Erzeugung von Biogas in der deutschen Abfallwirtschaft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 495-505
- Knappe, F.; Vogt, R.: Vergleichende ökologische Bilanzierung der Mitbehandlung von biologischen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 667-687
- Koch, P.: Vergärung von Restabfall nach dem Hese-Verfahren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 699-704
- Korz, D.J.: Erfahrungen mit der Biogasproduktion und Netzeinspeisung in Europa – Technologieüberblick, Leistung, Kosten und Anlagenbeispiele –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 199-205
- Langhans, G.: Der Markt für die Hersteller von Vergärungsanlagen – Deutschland und übriges Europa. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 507-527
- Lorbach, D.: Anlagen zur umweltfreundlichen Energieerzeugung bei Infraserb Höchst. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 217-225
- Mattersteig, S.; Brunn, L.; Hohmann, F.; Friese, M.; Bilitewski, B.: Siloxane im Biogas und in der Rotteabluft biologischer Abfallbehandlungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 591-607
- Mertsch, V.; Wiedenhöft, C.: Mitbehandlung von biogenen Abfällen in Faulbehältern. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 657-665
- Möller, A.; Stehle, S.: Aufbereitung von Abfällen vor der Vergärung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 109-117
- Oechtering, A.: Erfahrungen eines Entsorgungsunternehmens bei der Planung, dem Bau und Betrieb von Vergärungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 689-698
- Ottersbach, J.; Donner, O.: Die Energiewirtschaft des Biogases. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 261-266

- Prüß, H.; Danzeisen, K.; Gass, V.: Optimierung des Klimaschutzbeitrages von Biogas durch Abrücken vom Ausschließlichkeitsprinzip des EEG – Praxisbeispiele: Bestandsanlagen, Inputflexibilität, Kampagnenwechsel, Beimischung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 171-185
- Quittek, C.: Vergärung nach dem Valorga-System. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 705-713
- Raussen, T.; Kern, M.: Gärreste aus der Bioabfallbehandlung – Mengen, Qualitäten, Behandlung und Verbleib. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 161-175
- Raussen, T.; Oldhafer, N.: Energieeffizienz der Wärmeerzeugung für Bioabfallvergärungsanlagen ohne BHKW. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 173-182
- Rettenberger, G.: Sicherheitstechnische Konzepte für Biogasanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 385-397
- Rotter, S.: Lohnt sich die anaerobe Stufe bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung? In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- Rotter, S.; Löschau, M.: Energiebilanzen von Entsorgungsnetzen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004
- Rücker, T.: Anlagenkonzepte für die Vergärung von Bioabfällen aus Sicht eines kommunalen Auftraggebers. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 119-138
- Schröter, I.: ORC-Kleinkraftwerke für die Gewinnung von elektrischer Energie aus der Abwärme von Biogasmotoren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 207-217
- Schu, K.: Sand im Getriebe der Vergärung? In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 559-576
- Schütte, J.; Baumann, T.; Hummitzsch, M.: Kontinuierliche Trockenvergärung am Beispiel der Anlage Mondercange in Luxemburg. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 161-172
- Seidl, D.: Die zukünftige Wiener Vergärungsanlage Biogas Wien. In: Kossina, I. (Hrsg.): Abfallwirtschaft für Wien. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004, S. 431-444
- Sievers, M.; Bormann, H.; Schläfer, O.; Carlowitz, O.: Effizienzsteigerung von Biogasanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 139-146
- Thomé-Kozmiensky, K. J.: Abfallwirtschaft bis 2020 in Deutschland. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Optimierung der Abfallverbrennung 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2005, S. 3-82
- Thomé, E.: Ersatzbrennstoffe aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen mit Vergärungsstufe. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2005, S. 187-200
- Turk, T.; Idelmann, M.; Hake, J.: Technik und Wirtschaftlichkeit der Bioabfall- und Restabfallbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 247-262
- Tyczewski, T.: Die Genehmigung von Biogasanlagen – Geklärtes und Ungeklärtes. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 189-203

- Uecker, B.: Initiierung von Erneuerbare-Energie-Projekten am Beispiel von Biogasanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 277-289
- Urban, W.: Technologien und Kosten der Erzeugung von Erdgassubstituten auf Biomassebasis. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 621-631
- Vielhaber, B.; Hübler, K.: Optimierungspotential einer Vergärungsanlage in einer MBA – Beispiel MBA Hannover-Lahe. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 547-565

4.5. Wasserkraft

Wasserkraft ist – abgesehen von einigen Fällen mit erheblichen Eingriffen in die Natur und das Ökosystem – umweltfreundlich. In einigen Ländern ist Wasserkraft wegen der massiven Eingriffe in Natur und Kulturräume in Verruf geraten. Dies bezieht sich insbesondere auf Großprojekte wie auf den Jangtse-Staudamm in China, für dessen Bau Natur und Kulturlandschaft in großem Stil zerstört wurden.

Zur Stromerzeugung wird der Primärenergieträger Wasser durch eine Turbine geleitet. Mit der dort erzeugten mechanischen Energie wird über eine Welle ein Generator angetrieben, mit dem elektrischer Strom erzeugt wird, der nach der Transformation in das Netz eingespeist wird.

Wasserkraft wird hauptsächlich mit Laufwasserkraftwerken, Stauwasserkraftwerken und Pumpspeicherkraftwerken genutzt. Neuentwicklungen sind Gezeiten- und Wellenkraftwerke.

- Bei Laufwasserkraftwerken wird der Turbosatz – Turbine und Generator – durch die Bewegungsenergie des Wassers angetrieben. Turbosätze werden in Flussläufen eingebettet, so dass die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers genutzt werden kann. Das Wasser wird dafür leicht angestaut, damit es die Turbine kontinuierlich durchströmen kann.
- Bei Stauwasserkraftwerken wird das Wasser mit einer Mauer aufgestaut und am Fuß der Mauer durch eine Turbine gedrückt. Die Höhendifferenz des Wassers wird zur Umwandlung in mechanische Energie genutzt. Die Verfügbarkeit von Stauwasserkraftwerken hängt vom Wasserstand des Stausees ab.
- Pumpspeicherkraftwerke sind mit einem hohen und einem niedrigen Wasserbecken ausgestattet. Das Wasser wird vom niedrigen ins hohe Becken gepumpt und fließt von dort ab, wenn es gebraucht wird. Bei diesen Kraftwerken ist häufig kein natürlicher Zulauf vorhanden. Pumpspeicherkraftwerke werden zur Abdeckung von Spitzenlast betrieben.

Wasserkraft wird in Abhängigkeit von geografischen Gegebenheiten genutzt. In Deutschland ist das Potenzial zur Nutzung der Wasserkraft weitgehend ausgeschöpft, so dass es kaum noch Möglichkeiten zum Bau neuer Wasserkraftwerke gibt.

Der Anteil der Wasserkraft¹ an der Stromerzeugung in Deutschland betrug in 2010 etwa 3,4 Prozent.

¹ bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss

4.6. Geothermie

Als Geothermie oder Erdwärme wird die im zugängigen Teil der Erdkruste gespeicherte Wärme bezeichnet. In der Erde gespeicherte Energie wird entzogen und genutzt. Geothermie kann sowohl direkt zum Heizen oder Kühlen genutzt werden, als auch indirekt zur Erzeugung von elektrischem Strom oder in einer Kraft-Wärme-Kopplung.

Geothermie stammt zu dreißig bis fünfzig Prozent aus der Restwärme aus der Zeit der Erdentstehung und zu fünfzig bis siebzig Prozent aus radioaktiven Zerfallsprozessen, die in der Erdkruste kontinuierlich Wärme erzeugt haben und noch erzeugen. Nahe der Erdoberfläche kommen Anteile der Sonneneinstrahlung und durch den Wärmekontakt mit der Luft dazu.

Die Temperatur im Erdkern beträgt 4.800 bis 7.700 Grad Celsius. In den meisten Gebieten weist die Erde in einem Kilometer Entfernung von der Oberfläche eine Temperatur von 35 bis 40 Grad Celsius auf. Unter besonderen geologischen Bedingungen, z.B. in Vulkangebieten, weist die Erde geothermische Anomalien auf; hier kann die Temperatur mehrere hundert Grad Celsius erreichen.

Die Wärme im Erdinneren steht ständig zur Verfügung, sie lässt sich sowohl zum Heizen als auch zur Stromerzeugung nutzen. Theoretisch könnte die Geothermie den deutschen Energiebedarf decken.

Das Problem liegt bei der Bohrtechnik. In Deutschland müssten tausende Meter gebohrt werden, um ein Temperaturniveau zu erreichen, das die Erzeugung von elektrischem Strom erlaubt. Die Kosten der Geothermie sind daher sehr hoch. Einige andere Länder sind aus geologischen Gründen in einer besseren Situation. Island zum Beispiel deckt seinen Energiebedarf zum größten Teil mit Wärme aus dem Erdinneren.

Geothermie eignet sich in erster Linie zur dezentraler Nutzung. Die Wärme wird aus den tieferen Bereichen durch Wärmeleitung oder Konvektion durch aufsteigendes Tiefenwasser oder Gase für die Nutzung in erreichbare Tiefe transportiert.

Geothermie soll so genutzt werden, dass die Auskühlung des Erdkörpers so langsam vorschreitet, dass in der Nutzungszeit der Anlage die Temperatur nur so weit absinkt, dass ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage langfristig möglich ist.

Bei Nutzung der Geothermie als Energiequelle werden unterschieden:

- Oberflächennahe Geothermie zur direkten Nutzung, z.B. zum Heizen und Kühlen, meist als Wärmepumpenheizung,
- Tiefengeothermie zur direkten Nutzung als Wärme oder indirekt zur Stromerzeugung.

Tiefe Geothermie

Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur in der Erdkruste. Im Durchschnitt beträgt der Temperaturgradient 35 K bis 40 K pro Kilometer Teufe; dies wird als geothermische Tiefenstufe bezeichnet. Der Wert schwankt regional in engen Grenzen; große Abweichungen werden als Wärmeanomalien bezeichnet. Für die technische Nutzung sind Gebiete mit hohem Temperaturgradienten geeignet, insbesondere, wenn z.B. die Temperaturen schon in geringer Teufe mehrere hundert Grad betragen. Dies ist regelmäßig in der Nähe von Vulkanaktivitäten der Fall, sie werden als hochenthalpe Lagerstätten bezeichnet und können zur Stromerzeugung genutzt werden.

Abhängig von den Druck- und Temperaturbedingungen können Hochenthalpie-Lagerstätten dampf- oder wasserdominiert sein. Noch in jüngerer Zeit wurde der Dampf nach der

Nutzung in die Luft emittiert, was auch Schwefelgeruch verursachen konnte. Nach heutigem Stand der Technik werden die abgekühlten Fluide in die Lagerstätten zurück gepumpt, um Umweltbeeinträchtigungen zu vermeiden, die Produktivität aufrecht zu erhalten und die Erträge der Lagerstätte zu verbessern.

Das Fluid kann zur Bereitstellung von Industriedampf, zur Speisung von Nah- und Fernwärmenetzen sowie zur Erzeugung von Strom genutzt werden. Für die Stromerzeugung eignen sich Fluide von mehr als hundert Grad Celsius. Wird Wasser aus einem Aquifer gefördert, abgekühlt und zurück gepumpt, wird dies als hydrothermale Geothermie bezeichnet.

Bei der Tiefengeothermie werden drei Arten der Wärmeentnahme unterschieden:

- hydrothermale Systeme: Im Untergrund vorhandene Thermalwässer zirkulieren zwischen zwei Brunnen durch natürliche Grundwasserleiter.
- petrothermale Systeme: mit hydraulischen Stimulationsmaßnahmen werden im trockenen Untergrund Klüfte und Risse erzeugt, in die künstlich Wasser oder Kohlendioxid eingebracht wird, das zwischen zwei tiefen Brunnen zirkuliert.
- tiefe Erdwärmesonde: das Wärmeträgermedium zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf in einer Bohrung mit U-Rohr oder Koaxial-Sonde.

Welches dieser Verfahren eingesetzt wird, hängt von den geologischen Verhältnissen am Standort, von der benötigten Energiemenge und vom gewünschten Temperaturniveau bei der Wärmenutzung ab.

In Deutschland werden fast ausschließlich hydrothermale Systeme angewandt.

Oberflächennahe Geothermie

Die Temperatur der Luft ändert sich im Jahresverlauf. In der oberen Erdschicht wird die Temperaturänderung nicht oder nur gedämpft nachvollzogen. Mit Erdwärmesonden, -kollektoren und -körben oder mit erdgebundenen Betonbauteilen wird die Wärme an die Oberfläche gefördert. Meist kommen Wärmepumpen zum Einsatz, um Gebäude zu heizen (Wärmepumpenheizung). Im Sommer kann mit der Wärmepumpenheizung auch gekühlt werden.

Nutzung von Erdwärme

Die Geothermie ist eine langfristig nutzbare Energiequelle. Mit den in den oberen drei Kilometern der Erdkruste gespeicherten Vorräten könnte theoretisch der weltweite Energiebedarf für mehr als hunderttausend Jahre gedeckt werden. Jedoch kann nur ein geringer Teil der Energie technisch genutzt werden. Zudem können die Auswirkungen auf die Erdkruste bei umfangreicher Wärmeentnahme noch nicht abgeschätzt werden.

Die Erdwärme wird z.B. genutzt zur:

- Meerwasserentsalzung durch Einkochen und Verdampfen,
- Trocknung von Baumaterial,
- Trocknung von organischem Material wie Heu, Gemüse,
- Lufttrocknung von Lebensmitteln,
- Heizung und Kühlung,
- Tier- und Pilzzucht,

- Freihaltung von Eis auf Verkehrsflächen,
- Unterstützung von Gärungsprozessen,
- Fischzucht.

Stromerzeugung

Zur Stromerzeugung wurde die Geothermie erstmals in Larderello in der Toskana eingesetzt. In einem Kraftwerk werden mit dampfbetriebenen Turbinen 220 Kilowatt elektrische Leistung erzeugt. Unter der Toskana befindet sich dicht unter der Oberfläche Magma, das die Temperatur der Erde so erhöht, dass die Erdwärme wirtschaftlich genutzt werden kann.

Für die hydrothermale Stromerzeugung sind Wassertemperaturen von mindestens hundert Grad Celsius notwendig. Hydrothermale Vorkommen mit mehr als hundertfünfzig Grad Celsius können direkt zum Antrieb von Turbinen genutzt werden. In Deutschland liegen die üblichen Temperaturen der Warmwasservorkommen niedriger.

Staatliche Förderung

Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 1. Januar 2009 wird die geothermische Stromerzeugung mit bis zu 23 Cent pro eingespeiste Kilowattstunde gefördert. Die Förderung setzt sich zusammen aus

- der Grundvergütung von 16 Cent pro eingespeiste Kilowattstunde,
- dem Bonus von 4 Cent für Anlagen, die bis 2015 ans Netz gehen,
- dem Bonus von 3 Cent bei Auskopplung von zwanzig Prozent Fernwärme.

Wirtschaftlichkeit

Gründe für die bislang geringe Nutzung der Geothermie sind, dass der Wärmestrom in den zugänglichen Teilen der Erdkruste – von besonderen Standorten abgesehen – gering ist und die Nutzung bei niedrigen Energiepreisen nicht wirtschaftlich ist. Die Wirtschaftlichkeit der Geothermienutzung wird vor allem durch die Investitions- und Unterhaltskosten der Anlagen bestimmt. Unter den im Erneuerbare-Energien-Gesetz vorgegebenen Rahmenbedingungen kann die Wirtschaftlichkeit größerer Geothermieanlagen in einigen Gebieten erreicht werden, z.B. in Oberbayern, im Oberrheingraben und im Norddeutschen Becken.

Die oberflächennahe Erdwärmennutzung für Gebäudeheizung mit Wärmepumpe kann konkurrenzfähig sein. Diese Wärmepumpenheizungen bestehen aus einer oder mehreren Erdwärmesonden und einer oder mehreren parallel geschalteten Wärmepumpen. In 2004 wurden in Deutschland etwa 9.500 Anlagen errichtet, 2006 waren es schon 28.000.

Projekte der Tiefengeothermie gibt es in Deutschland in den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Thüringen. Projekte der Oberflächengeothermie gibt es in den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein.

5. Dezentrale Stromversorgung

Mit den noch vorherrschenden Energieversorgungssystemen, die aus wenigen großen, zentralen Erzeugungsanlagen und zentral organisierten Netzen bestehen, werden eine

große Zahl von räumlich verteilten Verbrauchern zuverlässig mit Energie versorgt. Diese Aufgaben wurden und werden noch hauptsächlich von den vier großen Energieversorgungsunternehmen wahrgenommen, die in regional aufgeteilten Märkten für die gesamte Versorgungskette zuständig waren. Für den Transport des elektrischen Stroms wurden konzerneigene Infrastrukturen aufgebaut, mit denen der Strom transportiert und verteilt wird. Auch wenn sich die meisten Erzeuger von ihren Netzen gesellschaftsrechtlich getrennt haben, funktioniert das System weiterhin in bewährter Art.

Wegen der Aufhebung der Gebietsmonopole und der verordneten Trennung von Erzeugung, Übertragung und Verteilung wird das Energieversorgungssystem im Laufe der Zeit umstrukturiert werden, so dass die Möglichkeiten für neue Anbieter verbessert werden.

Der Einsatz regenerativer Energieträger begünstigt die verstärkte Nutzung weiträumig verteilter, auch verbrauchernaher Energieumwandlungsanlagen. Das noch weitgehend zentral ausgerichtete Versorgungssystem wird durch kleinere, dezentrale Einheiten ergänzt. Erzeugung, Verteilung und Verbrauch können zu dezentralen Energieversorgungseinheiten zusammengefasst und mit übergreifenden Leistungs- und Energiemanagementsystemen gesteuert werden.

Das dezentrale Energieversorgungssystem besteht einerseits aus der Bereitstellung von Strom und Wärme durch kleine Anlagen in Verbrauchernähe und andererseits aus dezentralen Erzeugungsanlagen – vornehmlich Windkraftanlagen –, deren Strom über große Strecken zu den Verbrauchern transportiert werden muss. Diese Strukturveränderung hat eine quantitative und eine geografische Dimension. Neue Kraftwerke – z.B. Biomasse- und Ersatzbrennstoffkraftwerke – können am Schwerpunkt von Orten errichtet werden, an denen die Energie benötigt wird. Für diese Kraftwerksstruktur werden an Netzbetrieb, Energiemanagement und Schutztechnik andere Forderungen gestellt als an das vorherrschende zentrale System. Zentrale und dezentrale Energieversorgung schließen sich jedoch nicht aus, sie können sich ergänzen.

Zu unterscheiden sind die dezentrale Stromerzeugung der Stadtwerke, mit der elektrische Energie verbrauchernah, z.B. innerhalb oder in der Nähe von Wohngebieten bereitgestellt wird, und die Anbindung von kleinen Kraftwerken an Industrieanlagen oder Gewerbeparks. In beiden Fällen wird hauptsächlich der Energiebedarf der angeschlossenen Stromverbraucher gedeckt. Überschüssige Energie kann in ein überregionales Stromnetz eingespeist werden, aus dem auch zusätzlicher Energiebedarf gedeckt werden kann.

Leitungsverluste können durch die kurzen Versorgungswege weitgehend vermieden werden. Nachteilig ist der im Vergleich zu Großkraftwerken häufig geringere Wirkungsgrad von Kleinkraftwerken, sofern nur elektrischer Strom abgegeben werden kann. Dieser Nachteil kann durch die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme mehr als kompensiert werden, wenn der Gesamtwirkungsgrad durch durchgehend gesicherte Wärmeabnahme wesentlich höher wird als bei ausschließlicher Produktion von elektrischem Strom, wie es bei Großkraftwerken regelmäßig der Fall ist.

Typische Beispiele für dezentrale Stromversorgung sind Biomasse- und Ersatzbrennstoffkraftwerke. Biomassekraftwerke werden häufig in der Nähe des Anfalls des Primärenergieträgers Biomasse gebaut. Hohe Transportkosten können durch Begrenzung des Einzugsradius vermieden werden. Bei Blockheizkraftwerken kann die Abwärme in Form von Fernwärme genutzt werden. In Ersatzbrennstoffkraftwerken werden häufig Abfälle, die bei der Produktion anfallen – z.B. in Zellstoff- und Papierfabriken – zusammen mit Ersatzbrennstoffen aus Haushalts- und Gewerbeabfällen verbrannt.

Der Bau von kleinen, dezentralen Anlagen verursacht meistens höhere spezifische Investitionskosten als der Bau von Großanlagen. Dennoch können die Gesamtkosten in Abhängigkeit von den Gesteungskosten der Energieträger und vom Aufwand für die Verteilung von Strom und Wärme geringer sein.

Die deutschen Stadtwerke haben 2010 ihre Stromerzeugung gesteigert, wie der Verband Kommunaler Unternehmen (VKU) am 15.09.2011 mitteilte. Aktuell befinden sich 15.223 Megawatt (MW) im Besitz der kommunalen Erzeuger; das ist ein Anstieg von rund neun Prozent im Vergleich zu 2009 (13.998 MW). Gemessen an der in Deutschland insgesamt installierten Netto-Engpassleistung der allgemeinen Versorgung in Höhe von 154.824 MW bedeutet das einen gestiegenen Marktanteil von 9,8 Prozent. 2009 waren es noch 9,2 Prozent.

Mit der Energiewende und der damit verbundenen Tendenz zu mehr dezentralen Technologien sieht der Verband die Chance, den Anteil seiner Mitglieder an der Stromerzeugung weiter zu steigern. Bis 2020 will der Verband den Anteil seiner Mitglieder mindestens verdoppeln.

Die kommunalen Energieversorger setzen vor allem auf die Erneuerbaren Energien, auf Gas als Brückentechnologie und auf die Kraft-Wärme-Kopplung. Derzeit sind 3.272 MW an Erzeugungsanlagen im Bau oder in Genehmigungsverfahren, wovon ein Drittel auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien entfällt.

Insgesamt wenden die kommunalen Versorger bereits 6,7 Milliarden Euro auf, weitere Milliardeninvestitionen sollen dazukommen. Zu den Voraussetzungen gehören günstige Rahmenbedingungen für den Bau effizienter und flexibler Gaskraftwerke, damit sich der Bau auch lohnt. Dafür werden Investitionsanreize und Kapazitätsmechanismen gefordert, die den Wettbewerb auf dem Erzeugungsmarkt weiter stärken.

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien kann nur gelingen, wenn neben den Übertragungsnetzen auch der Aus- und Umbau der Verteilnetze gestärkt wird. Bereits heute werden mehr als achtzig Prozent der Erneuerbaren Energien auf der Verteilnetzebene eingespeist. Die Kosten schätzt der VKU bis 2030 auf 25 Milliarden Euro. Darin sind die Kosten für den Umbau zu intelligenten Netzen noch nicht enthalten, die zum Ausgleich schwankender Einspeisemengen von Strom aus Wind und Sonne notwendig sind. Damit wird allerdings der Ausbaubedarf für die großen Übertragungsnetze vermindert.

Literatur

- Assmann, I.: Dezentrale Energieversorgungssysteme mit hochflexibler Kraft-Wärme-Kopplung und deren Regelung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 237-245
- Brinker, W.; Wieben, E.: Dezentrale Energie – Netzstabilität. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 473-488
- Günther, J.; Zickert, U.: Die Rolle der Abfallverbrennung in dezentralen Energiekonzepten am Beispiel Plymouth. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Versteyl, A. (Hrsg.): Planung und Umweltrecht, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, erscheint Januar 2012
- Kretschmer, R.: Zusammenhang zwischen dem Strom- und Erdgasmarkt, dem Ausbau der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung und der Emissionsminderungseffizienz. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 483-488

Regelmann, C.; Wustmann, F.; Börner, S.-S.; Maier, J.: Marktentwicklung für regenerative/dezentrale Energieversorgung aus Sicht eines kommunalen Unternehmens. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 65-70

Wille-Haussmann, B.; Wittwer, C.; Sauer, C.: Dezentrales Energie- und Netzmanagement mit flexiblen Stromtarifen. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 539-549

6. Netze

Nach Angaben der Bundesnetzagentur hat schon die derzeitige Abschaltung von acht Kernkraftwerken Folgen für die Versorgungssicherheit. Die Netzbetreiber wagen es nicht, Leitungen für Wartungs- und Reparaturarbeiten vorübergehend abzuschalten, weil bei Abschaltungen einzelner Leitungen größte Stromausfälle befürchtet werden. Die Bundesnetzagentur hat mitgeteilt, dass die Netzsituation während des Sommers als beherrschbar eingeschätzt wird. Jedoch werden für den Herbst und den Winter Schwierigkeiten befürchtet [FAZ vom 18.04.2011, S. 11]. Für weitere Stilllegungen von Kraftwerken gibt es *keinen Puffer*. Insbesondere sieht die Agentur bei außergewöhnlichen Ereignissen Risiken.

Für die Umstellung auf Erneuerbare Energien ist der Zustand der Netze noch unzureichend. Weht viel Wind, müssen regelmäßig Windparks abgeschaltet werden.

Im Auftrag des Bundesverbands Windenergie (BWE) wurde von dem Berliner Beratungsunternehmen Ecofys der Umfang der Abschaltungen in den Jahren 2009 und 2010 untersucht. In diesem Zeitraum vervielfachte sich die Zahl der Abschaltungen von 285 auf 1.085. Nach den Ergebnissen der Ecofys-Untersuchung war die *vernichtete Strommenge* im Jahr 2010 um bis zu 69 Prozent höher als im Jahr 2009.

Die Netzagentur gab einen Ausfall von 127 Gigawattstunden für 2010 bekannt. Nach der BWE-Untersuchung waren es jedoch bis zu 150 Gigawattstunden.

Besonders betroffen war der Norden Deutschlands, weil hier die meisten Windparks errichtet wurden und die Netze besonders schwach sind. Daher wurden von allen Windparks bis zu zwanzig Prozent des erzeugten Stroms nicht eingespeist [Financial Times Deutschland, 31.10.2011, S. 9].

Literatur

Appel, M.: Umwelt- und planungsrechtliche Fragen des Ausbaus von Hochspannungsleitungen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 211-229

Brinker, W.: Anforderungen an die Netze zur Stromversorgung mit erneuerbaren Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 199-210

Brinker, W.; Wieben, E.: Dezentrale Energie – Netzstabilität. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 473-488

Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hrsg.): dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025. 2010, 564 S.

Kempmann, J.: Netzstabilität und Verfügbarkeit von Kraftwerken – Einfluss der Windenergie. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 215-220

- Puls, R.; Zindler, H.: Technische Herausforderungen des GB Grid Codes. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 489-499
- Rosendahl, J.; Bennauer, M.; Werthes, H.; Lösing, M.: Nachweis der Einhaltung von Netzrichtlinien durch Simulation des instationären Verhaltens von Dampfturbinen am elektrischen Netz. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 565-570
- Rucht, C.; Ollia, H.; Franitza, K.; Ehrsam, A.; Bauver, W.: Combined Cycle Power Plants as ideal solution to balance grid fluctuations – Fast Start-up Capabilities. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 247-261
- Säcker, F. J.: Der bestehende Rechtsrahmen für Netze. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 277-287
- Schlegelmilch, K.: Windenergie und die Netzintegration von Erneuerbaren Energien in Deutschland und international. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 327-332
- Schneller, C.: Netzausbau im europäischen Kontext. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 289-295
- Steinbach, A.: Auf dem Weg ins regenerative Zeitalter – Ein Offshore-Netz in der Nordsee. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 271-275
- Wille-Haussmann, B.; Wittwer, C.; Sauer, C.: Dezentrales Energie- und Netzmanagement mit flexiblen Stromtarifen. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 539-549
- Zolotarev, P.; Treuer, M.; Weißbach, T.; Gökeler, M.: Netzregelverbund – Koordinierter Einsatz von Sekundärregelleistung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 555-563

7. Speicher

Die folgenden Ausführungen basieren im Wesentlichen auf einer Darstellung von Gunkel, Kunz, Möst und von Selasinsky.

Wegen der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen ist der Bedarf an Speichern hoch, damit die fluktuierende Stromproduktion in Zeiten der Überproduktion aufgenommen und in Zeiten einer Residuallast Strom bereitgestellt werden kann.

Die Integration der fluktuierenden Elektrizitätseinspeisung aus Erneuerbaren Energien ist die zentrale Herausforderung für das Energiesystem, weil nur so die Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann.

Die Verwendung von Erzeugungstechnologien, die nicht bedarfsgerecht, sondern dargebotsabhängig zur Verfügung stehen, verlangt Maßnahmen, mit denen Angebot und Nachfrage physikalisch ausgeglichen werden. Der Energiespeicherung kommt die Aufgabe zu, die Nachfrage übersteigende Stromproduktion in Zeiten mit hoher Residuallast zu verlagern.

Auch wenn zukünftig Energiespeichertechnologien derartige Fluktuationen nicht ausgleichen werden können, wird der Bedarf an Speichern beim geplanten Ausbau von Erneuerbaren Energien zunehmen und sich ihre Bedeutung erhöhen (vgl. hierzu u.a. [Dena et al.; Popp]).

Technische Möglichkeiten der Energiespeicherung

Strom kann nicht direkt gespeichert werden. Daher sind andere Formen – mechanische Energie, elektro-statische und elektro-magnetische Felder oder chemische Bindungsenergie – notwendig. Speicher werden in Energie- und Leistungsspeicher unterteilt². Mit Leistungsspeichern kann in extrem kurzen Zeiten ein Großteil der gespeicherten Energie an das Netz abgegeben werden. Mit Energiespeichern kann die Energie über längere Zeiträume (Stunden, Tage) ins Netz eingespeist werden.

Für die längerfristige Speicherung während mehrerer Tage und Wochen können in Kombination mit hohen Leistungen drei Technologien eingesetzt werden: Druckluftspeicher, Pumpspeicher und Wasserstoffspeichersysteme oder stoffliche Speicher. Diese Technologien werden ausführlich von Hennings et al. beschrieben.

Pumpspeicherwerke

Mit Pumpspeicherkraftwerken (PSW) wird potentielle in kinetische Energie umgewandelt, indem Wassermassen vom Oberbecken durch eine Turbine in das Unterbecken strömen und umgekehrt. Pumpspeicherkraftwerke weisen hohe Lastgradienten und Wirkungsgrade bis 85 Prozent auf [ESA]. Sie können sowohl im Spot- als auch im Regenergiemarkt eingesetzt werden und leisten einen entscheidenden Beitrag zur Integration der fluktuierenden Einspeisung aus Erneuerbaren Energien in das Netz. Andere vergleichbare Technologien im Bereich der Großspeicher mit diesen technischen Eigenschaften existieren noch nicht. Jedoch reichen die in Deutschland verfügbaren Kapazitäten von 7.627 MW [EEX] nicht aus, die Schwankungen über Wochen hinweg auszugleichen [Dena et al.]. Ausbauprojekte in Europa – in der Schweiz, Österreich, in Deutschland, wie beispielsweise das Pumpspeicherkraftwerk in Atdorf – befinden sich in Planung, stoßen allerdings häufig auf Widerstände in der Bevölkerung.

Druckluftspeicher

Druckluftspeicher (DLS) werden in adiabate und diabate Systeme unterschieden. In beiden Fällen wird eine unterirdische Kaverne mit Druckluft gefüllt. In diabaten Systemen wird die Verdichtungswärme ungenutzt an die Umwelt abgegeben; bei der Entspannung wird sie durch eine Gas-Brennkammer zugeführt. Bei einem adiabaten DLS wird diese thermische Energie in einem Wärmespeicher zwischengespeichert. Dadurch wird der Wirkungsgrad von 50 Prozent auf bis zu 70 Prozent erhöht [Dena et al.]; jedoch existieren noch keine kommerziell genutzten adiabaten DLS. Während die Technologie für diabate Druckluftspeicher Stand der Technik ist, könnten sich bei entsprechenden technischen Fortschritten Einsatzpotentiale für adiabate Druckluftspeicher eröffnen. Die Schwierigkeiten liegen in der optimalen Speicherung und Nutzung der Kompressionswärme [Dena et al.].

² Auch ein so genannter Leistungsspeicher speichert letztlich Energie und ist de facto somit ein Energiespeicher. Aufgrund der kurzen Speicherdauer und der relativen hohen Leistungsgradienten werden diese im Folgenden als Leistungsspeicher bezeichnet.

Stoffliche-Speicher

Mit der Wasserstofftechnologie kann nicht zur sofortigen Bedarfsdeckung erforderliche Elektroenergie durch leistungsstarke Elektrolyseanlagen in Wasser- und Sauerstoff zerlegt werden³.

Der Wasserstoff kann verschiedenartig genutzt werden, z.B.

1. zur Speicherung in Kavernen und Rückverstromung mit Brennstoffzellen oder Gasturbinen,
2. als Kraftstoff für den mobilen Bereich.

Die zentrale Herausforderung ist die Erhöhung des Elektrolysewirkungsgrades [Wietschel et al.]. Der Einsatz der Wasserstofftechnologie ist sinnvoll, wenn hohe Energiedichten benötigt werden. Allerdings ist der Gesamtwirkungsgrad bei ausschließlicher Stromspeicherung gering.

Ähnlich wie *Wasserstoff* kann auch Methan synthetisch erzeugt werden und die überschüssige Elektroenergie speichern [Hauer et al.]. Methan kann gespeichert oder in die Erdgasinfrastruktur eingespeist werden.

Elektrochemische-Speicher

Zu elektrochemischen Speichersystemen gehören verschiedene Batterienarten, z.B. Blei-Säure-, Lithium-Ionen- sowie Nickel-Cadmium- und Natrium-Schwefel-Batterien. Redox-Flow-Batteriesysteme werden zurzeit entwickelt [Wietschel et al.].

Insbesondere für die Elektromobilität werden große Hoffnungen auf die Elektrizitätsspeicherung gesetzt. Allerdings wird die Speicherung über einen Zeitraum von mehreren Tagen schwer zu realisieren sein, da die tägliche Nutzung für die Mobilitätsbedürfnisse Vorrang haben wird.

Fazit

Die Integration der fluktuierenden Elektrizitätseinspeisung aus Erneuerbaren Energien ist eine zentrale Herausforderung für die Entwicklung eines Energiesystems, das maßgeblich auf der Nutzung regenerativer Ressourcen beruht. In erster Linie muss die Stabilität und Funktionsfähigkeit des Übertragungsnetzes gewährleistet werden und zugleich soll dies möglichst kosteneffizient geschehen. Möglichkeiten zur Speicherung von elektrischer Energie sind in diesem Zusammenhang entscheidend. Wie eine Analyse der Vermarktung von Speicherkapazität – Druckluft- und Pumpspeicher – am Spotmarkt unter derzeitigen Marktbedingungen zeigt, ist ein Betrieb durch die alleinige Vermarktung am Spotmarkt derzeit nur bedingt wirtschaftlich. Daher sollte neben der alleinigen Betrachtung des Spotmarktes ebenfalls die Vermarktung der Speicherkapazität für Systemdienstleistungen berücksichtigt werden; dies kann den wirtschaftlichen Betrieb begünstigen. Im Vergleich der betrachteten Technologien zeichnet sich das bewertete Pumpspeicherkraftwerk im Vergleich zum Druckluftspeicherkraftwerk – bedingt durch die höheren Gesamtwirkungsgrade und vermiedenen Brennstoffkosten – durch höhere Deckungsbeiträge aus. Ebenfalls zeigt sich, dass die Volatilität der Handelspreise am Spotmarkt als maßgebliche Einflussgröße für den Pump- bzw. Kompressions- und Turbinenbetrieb die Wirtschaftlichkeit der Speicherkraftwerke determiniert.

³ Neben der Elektrolyse von Wasser kann Wasserstoff über Reformierung bzw. partielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen oder über Kohlevergasung erzeugt werden. Allerdings sind die Herstellungsprozesse durch zu geringe Wirkungsgrade, hohe Kosten bzw. begleitende CO₂-Emissionen charakterisiert.

Literatur

- Dena, TU München und RWTH Aachen: Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherkraftwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien. 2010, http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Publikationen/ESD/Endbericht_PSW_-_Integration_EE_dena.pdf, Abgerufen am 10.06.2011
- Dribbisch, M.; Hedbäck, A. J. W.; Höfurther, C.: Systemtechnische Bedeutung von hocheffizienten KWK-Anlagen in Verbindung mit Kurzzeit-Wärmespeichern. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 565-578
- Ehlers, N.; Erdmann, G.: Betriebs- und volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse der Energiespeicherung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 299-315
- ESA: Pumped Hydro. Electricity Storage Association, Washington. 2009, http://www.electricitystorage.org/ESA/technologies/pumped_hydro, abgerufen am 21.06.2011
- EEX: Verfügbare und Installierte Kapazität, <http://www.transparency.eex.com/de/freiwillige-veroeffentlichungen-marktteilnehmer/stromerzeugung/verfuegbare-und-installierte-kapazitaet>, abgerufen am 14.06.2011.
- Gunkel, D.; Kunz, F.; Möst, D.; von Selasinsky, A.: Bewertung von Speicherkraftwerken im liberalisierten Strommarkt. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 539-551
- Hartel, R.; Keles, D.; Genoese, M.; Möst, D.; Fichtner, W.: Optimierter Einsatz von adiabaten und diabaten Druckluftspeichern, 11. Symposium Energieinnovation, 10.-12.02.2010, Graz
- Hauer, A.; Specht M.; Sterner M.: Energiespeicher – Steigerung der Energieeffizienz und Integration Erneuerbarer Energien. Report Themen 2010 – Forschung für das Zeitalter der erneuerbaren Energien, Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE), 2010, S. 110-114
- Hennings, W.; Markewitz, P.; Linssen, J.: Energiespeicher – Ein Überblick über den aktuellen Stand der Technik. BWK, Band 63, 2011, Nr. 5, 53-58
- Huhn, R.: Thermische Energiespeicher – Voraussetzung für den Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 329-339
- Keles, D.; Hartel, R.; Möst, D.; Fichtner, W.: Power plant investments under uncertain electricity prices – An evaluation of compressed-air energy storage (CAES) plants in liberalized energy markets. Energy Economics, im Druck, 2011
- Kretschmer, R.: Druckluftspeicher – Technik, Chancen und Probleme. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 317-327
- Linke, G.: Zukünftige Strukturen der Energiespeicherung – die Rolle von Erdgas –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 237-243
- Meiller, M.; Binder S.; Faulstich, M.: Speichertechnologien im Überblick. In: Wasser und Abfall (2011), Nr. 11, S. 10-13
- Popp, M.: Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- Schnatbaum-Laumann, L.; Gathmann, N.: Solarthermische Kraftwerke – Flexible Stromversorgung dank integriertem Speicher. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 255-268

- Schulz, C.; Jahns, F.; Spieker, S.: Thermopotentialspeicher – Energiespeicher der Zukunft? In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 553-564
- Wietschel, M.; Arens, M.; Dötsch, C.; Herkel, S.; Krewitt, W.; Markewitz, P.; Möst, D.; Scheufen, M.: Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2010
- Wohlers, M.: Salzkavernen als Großspeicher für fossile und Erneuerbare Energien. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 523-538
- Zunft, S.; Krüger, M.; Marquardt, R.; Buschsieweke, F.; Moser, P.; Bieber, M.; Eichhorn Colombo, K.; Niklasch, C.; Mayer, P.-M.; Klafki, M.; Bannach, A.: Adiabate Druckluftspeicher für die Elektrizitätsversorgung. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 579-590

8. Akteure auf dem Markt

Von der Energiewende sind die großen Konzerne E.ON, RWE, EnBW und Vattenfall wegen der Stilllegung der Kernkraftwerke besonders betroffen.

Die Reaktionen bei diesen Unternehmen sind durchaus unterschiedlich. In jedem Fall sind sie zum Sparkurs, d.h. Personalabbau und Verkäufen von Unternehmensteilen, gezwungen.

E.ON hatte im zweiten Quartal 2011 einen Verlust von 382 Millionen Euro; das ist der erste Verlust in der mehr als zehnjährigen Konzerngeschichte. Um im Bereich der Erneuerbaren Energien zu investieren, werden auch Teile des Konzerns verkauft.

In regenerative Energien wurden im Jahr 2010 1,2 Milliarden Euro investiert. Der Konzern hat angekündigt, dass im Jahr 2013 zwei- bis drei Mal so viel in Erneuerbare Energien investiert werden wird.

Die Investitionen in Kohle- und Gaskraftwerke lagen im Jahr 2010 noch bei fast 1,8 Milliarden Euro. Sie werden voraussichtlich auf weniger als eine Milliarde zurückgefahren werden [Financial Times Deutschland, 31.10.2011, S. 3].

Literatur

- Bessau, D.: Ein starker Heimatmarkt ist Voraussetzung für erfolgreichen Export. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 157-163
- Briese, D.: Eigentümerstrukturen bei Anlagen für erneuerbare Energien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 213-221
- Felsmann, C.: Regenerative Energiequellen in der kommunalen Energieversorgung – Potentiale und Grenzen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 95-106
- Gatena, J.: Marktentwicklung bei Biogas in Europa. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 267-275
- Hein, T.: Biogas – Marktentwicklung und systematische Standortsuche. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 263-269
- Henzelmann, T.: Umwelttechnik als internationaler Leitmarkt. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 133-152

- Lohse, O.: Projektfinanzierung im Markt für erneuerbare Energien – Herausforderungen im Bereich Offshore Wind. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 221-238
- Schlömann, M.: Förderung erneuerbarer Energien durch die KfW Bankengruppe. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 153-156
- Thomé-Kozmiensky, K. J.; Thiel, S.: Beitrag der Abfallwirtschaft zur Energie- und Rohstoffversorgung in Deutschland. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 271-300
- Zunft, J.: Abfallverbrennungsanlagen im Portfolio von Energieversorgungsunternehmen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Versteyl, A. (Hrsg.): Planung und Umweltrecht, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, erscheint Januar 2012

9. Anmerkungen zur Wirtschaftlichkeit

Die Mittel für den Klimafonds sollen verdreifacht werden. Allerdings werden die Betreiber von Kernkraftwerken nicht länger einzahlen, weil die Vereinbarungen über die Laufzeitverlängerung storniert werden.

Auch werden die geplanten Einnahmen aus der Brennelementesteuer entfallen und damit die Kosten für Strom aus Erneuerbaren Energien erhöhen.

Wichtigste Stromkunden sind die energieintensiven Industrien, das sind die Chemieindustrie, die Metallhütten und auch in einigen Regionen Zementwerke. Diese Industrien verbrauchen etwa ein Fünftel des erzeugten Stroms. Zwar müssen energieintensive Betriebe weniger Abgaben für Erneuerbare Energien zahlen als andere Unternehmen, doch könnte die Europäische Kommission dies als unerlaubte Beihilfe qualifizieren.

Für Strom existiert im Unterschied zu Kohle, Öl und Gas kein Weltmarktpreis. Der Preis ist von Land zu Land – hauptsächlich abhängig von der Steuerbelastung – unterschiedlich. In Deutschland lagen die Steuern und Abgaben im Jahr 1998 noch bei 25 Prozent, im Jahr 2011 sind es schon 46 Prozent, also fast die Hälfte der Gesamtkosten (Bild 1).

In Frankreich sind z.B. die Abgaben nur halb so hoch wie in Deutschland.

Die Kosten für die Energiewende werden sich erst abschätzen lassen, wenn die Vorgaben der Regierung konkretisiert sein werden. Sicher ist, dass für die notwendigen Investitionen die publizierten zwei Milliarden Euro pro Jahr zu niedrig angesetzt sind.

Der Umbau der Stromversorgung wird nach überschlägiger Berechnung verschiedener Institutionen – z.B. der Deutschen Energieagentur – Mehrkosten in zweistelligem Milliardenbereich pro Jahr kosten (FAZ vom 16.04.2011, S. 11). Belastbare Zahlen wird es erst nach Vorlage des endgültigen Energiekonzepts geben.

Dies könnte bis 2020 Mehrkosten von etwa fünf Cent pro Kilowattstunde bedeuten. Zurzeit zahlen Haushaltskunden etwa 23 Cent pro kWh, Industriekunden weniger. Sollte diese Prognose zutreffen, würden Haushaltskunden im Jahr 2020 etwa 28 Cent pro kWh zahlen müssen, das wären gut zwanzig Prozent mehr als heute.

In Deutschland wurden im Jahr 2010 netto 530 Millionen kWh verbraucht. Bei konstanter Nachfrage ergäben sich nach überschlägiger Rechnung etwa zwanzig Milliarden Euro pro Jahr an Zusatzkosten (FAZ 16.04.2011, S. 11).

Unsicher ist allerdings, wie sich der Bedarf entwickeln wird, z.B. durch Reduzierung des Verbrauchs und durch Steigerung der Energieeffizienz.

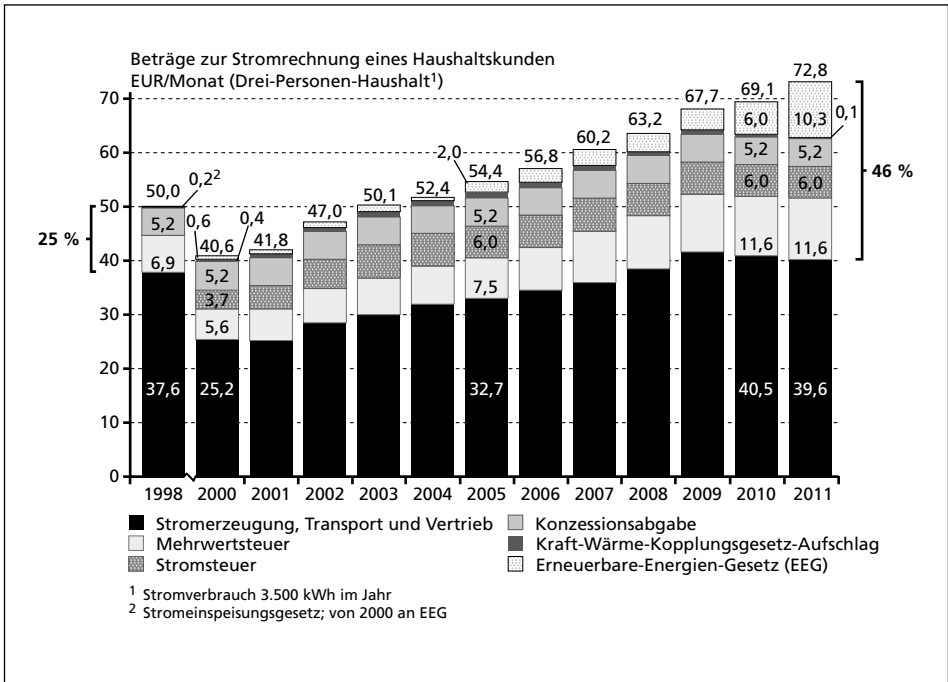


Bild 1: Steuern, Abgaben und Umlagen machen den Strom immer teurer

Quelle: FAZ vom 16.04.2011, Nr. 89, S. 11

Die Sanierung der Wohngebäude wird zusätzlich subventioniert werden. Dennoch wird sie sich für die Eigentümer vieler Häuser, insbesondere kleiner Gebäude, nicht lohnen.

Kostentreiber beim Umbau der Stromversorgung sind

- Für den Aus- und Umbau der Netze für die Stromübertragung und -verteilung müssen nach Berechnung der Deutschen Energieagentur (Dena) und des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) in Abhängigkeit von der Auslegung 23 bis 56 Milliarden Euro investiert werden. In dieser Summe sind Ersatzinvestitionen, Investitionen für Smart Meter, Smart Grids, Elektromobilität und Anschluss von Kleinblockkraftwerken nicht enthalten.
- Für den Ausbau der Erneuerbaren Energien werden die Stromkunden etwa dreizehn Milliarden Euro in 2011 zahlen. Die EEG-Umlage wird sich in Abhängigkeit von den Investitionen – insbesondere getrieben vom Ausbau der Photovoltaik – bis 2020 verdoppelt. Für die Betreiber von Offshore-Windparks sind höhere Subventionen vorgesehen, um den Ausbau zu stimulieren.
- Für den Ausbau der Stromerzeugung wird der Bau großer Stromspeicher benötigt. Die Kosten hierfür lassen sich derzeit nicht beziffern, da noch nicht geklärt ist, wo diese errichtet werden sollen.

Zusätzliche Kosten werden durch die energetische Gebäudesanierung, die Energieforschung, Anreizprogramme für energieeffiziente Geräte und Fahrzeuge mit Elektroantrieb entstehen. Der Klimafonds soll verdreifacht, also auf eine Milliarde Euro aufgestockt werden. Die energetische Gebäudesanierung soll mit der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW-Bank) auf zwei Milliarden Euro erhöht werden. Dies wird von der Dena als nicht ausreichend angesehen; vier bis fünf Milliarden Euro pro Jahr werden von ihr als realistisch angesehen. Nach Ansicht von Fachleuten löst die Förderung um einen Euro Investitionen von sechs bis acht Euro aus.

Der Einschätzung widerspricht Greenpeace auf der Basis eines Gutachtens des Forums ökologisch-soziale Marktwirtschaft [FAZ vom 18.04.2011, S. 11]. Danach ergibt sich bei Berücksichtigung aller Kosten für die Erzeugung, der staatlichen Förderungen und der externen Kosten für Umweltschäden ein anderes Bild. Genannt werden folgende Stromkosten: 7,6 Cent für Windstrom, 6,5 Cent für Wasserstrom, 12,1 Cent für Strom aus Braun- und Steinkohlekraftwerken, 12,8 Cent für Strom aus Kernkraftwerken und 46,5 Cent für Strom durch Photovoltaik, alle Angaben jeweils für eine Kilowattstunde.

Greenpeace formuliert das so: *Bislang wurden die Verbraucher über den wahren Preis von Kohle und Atom dadurch getäuscht, dass ein Großteil der Kosten gar nicht auf der Stromrechnung auftaucht. Die gesellschaftlichen Kosten würden nicht ehrlich beziffert.*

Die Atomindustrie habe in den vergangenen vierzig Jahren 186 Milliarden Euro als staatliche Förderung erhalten. Der Steinkohlebergbau sei mit 165 Milliarden Euro und der Braunkohlebergbau mit 57 Milliarden Euro subventioniert worden. Hingegen seien die Erneuerbaren Energien mit 28 Milliarden, einschließlich der Kosten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) subventioniert worden [FAZ v. 18.4.2011, S. 11]

Investition bei Anlagenherstellern

Firmen, die im Anlagenbau für Erneuerbare Energien tätig sind, wollen nach Verlautbarungen des Bundesverbands Erneuerbarer Energien (BEE) in diesem Jahr etwa 5,5 Milliarden Euro investieren, davon vier Milliarden Euro in Produktionskapazitäten sowie 1,5 Milliarden Euro in Forschung und Entwicklung. Bis 2014 sollen sich die Investitionen auf 6,2 Milliarden Euro erhöhen. In die Produktionskapazitäten sollen etwa 3,8 Milliarden Euro fließen, im Wesentlichen in die Photovoltaik und die Windenergie; für den Biogasbereich werden nur 109 Millionen Euro erwartet [EUWID Recycling und Entsorgung, 14.02.2011, S. 10].

Stromverbraucher

Die deutsche Wirtschaft zeigt sich zum Teil über den energiepolitischen Kurs der Regierung irritiert, weil sie von der Politik nicht gehört werde [FAZ v. 12.4.2011, S. 11]. Die energieintensiven Branchen richteten am 11. April 2011 einen *Appell für einen gesellschaftlichen Konsens für Energie-, Klima- und Industriepolitik* an die Bundesregierung. Diese Branchen – Chemie, Baustoffe, Glas, Papier, Metalle und Stahl – verbrauchen 123 Terawattstunden, das ist etwa die Hälfte des in der gewerblichen Wirtschaft genutzten Stroms oder ein Fünftel des deutschen Stromverbrauchs. Sie setzen 311 Milliarden Euro um und beschäftigen 870.000 Mitarbeiter. Sie sind besorgt, weil energiepolitische Veränderungen ihre Betriebe, die im internationalen Wettbewerb stehen, direkt betreffen und Nachteile am Standort Deutschland nur schwer zu kompensieren sind.

Diese Branchen sind für ihre rund um die Uhr laufenden Anlagen auf eine stabile Grundlastversorgung mit Strom angewiesen. Sie benötigen beim Wegfall von Kernkraftwerken einen gleichwertigen Ersatz, den sie im zusätzlichen Bau von Kohlekraftwerken sehen.

Die Vertreter der energieintensiven Branchen weisen darauf hin, dass trotz der Zunahme der Energieeffizienz der Energieverbrauch wegen der Steigerung der Produktion nicht abnehme, also das Ziel der Regierung, den Verbrauch bis 2020 um zehn Prozent zu senken, in den energieintensiven Branchen nicht erreicht werden könne.

Die Branchen werden in ihrer Argumentation von der SPD unterstützt, die für bezahlbare Strompreise den Neubau von mehr als einem Dutzend Gas- und Kohlekraftwerken fordert [FAZ v. 12.4.2011, S. 11].

Die Chemie- und die Stahlindustrie sind wesentliche Partner für die Auto- und die Maschinenbauindustrie, weil Forschung, Materialkunde und Fertigung intensiv miteinander verzahnt sind.

Literatur

- Bitter, O.; Lenk, U.; Pyc, I.: Auswirkungen der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise auf den Kraftwerksanlagenbau. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 41-50
- Borstelmann, N.: Chancen für den Export deutscher Windkrafttechnologien. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 433-439
- Ehlers, N.; Erdmann, G.: Betriebs- und volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse der Energiespeicherung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 299-315
- Gunkel, D.; Kunz, F.; Möst, D.; von Selasinsky, A.: Bewertung von Speicherkraftwerken im liberalisierten Strommarkt. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 539-551
- Henzelmann, T.: Umwelttechnik als internationaler Leitmarkt. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 133-152
- Hey, C.: Hundert Prozent erneuerbare Stromversorgung bis 2050 – klimaverträglich, sicher, bezahlbar. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 45-59
- Korz, D. J.: Erfahrungen mit der Biogasproduktion und Netzeinspeisung in Europa – Technologieüberblick, Leistung, Kosten und Anlagenbeispiele. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 199-205
- Kretschmer, R.: Zusammenhang zwischen dem Strom- und Erdgasmarkt, dem Ausbau der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung und der Emissionsminderungseffizienz. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 483-488
- Morin, G.: Electricity Generation with Solar Thermal Power Plants – Technology Overview, Optimization Potential and Economic Situation. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 283-301
- Ottersbach, J.; Donner, O.: Die Energiewirtschaft des Biogases. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 261-266
- Regelmann, C.; Wustmann, F.; Börner, S.-S.; Maier, J.: Marktentwicklung für regenerative/dezentrale Energieversorgung aus Sicht eines kommunalen Unternehmens. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 65-70

- Schlömann, M.: Förderung erneuerbarer Energien durch die KfW Bankengruppe. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 153-156
- Schrader, K.; Schemm, R.: Marktparität erneuerbarer Energie aus Wind und Photovoltaik. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 209-214
- Tiggas, K.-D.: Marktentwicklung für konventionelle Kraftwerke aus der Sicht eines Anlagenbauers. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 39-56
- Wiese, A.: Perspektiven der Wirtschaftlichkeit von Wind- und Solarkraftwerken im Vergleich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 197-207

10. Fazit

Die weitgehende Umstellung der Stromversorgung auf Erneuerbare Energien ist vom größten Teil der Bevölkerung akzeptiert und wird auch prinzipiell unterstützt. Im Einzelfall werden jedoch Probleme auftreten, die zumindest die Realisierung von Projekten verzögern, gelegentlich auch scheitern lassen werden. Windkraftanlagen und Hochspannungsleitungen beeinträchtigen das Landschaftsbild, ggf. Flora und Fauna, regelmäßig auch die Interessen unmittelbar Betroffener.

Der Ausbau Erneuerbarer Energien wird ohne gezielte räumliche Steuerung unter Mitwirkung des Naturschutzes die biologische Vielfalt auf lokaler und regionaler Ebene stören.

Potentielle Konflikte müssen mit Vertretern des Naturschutzes, mit den zuständigen Genehmigungsbehörden, Nicht-Regierungs-Organisationen und betroffenen Einzelpersonen schon im Vorfeld von Genehmigungsverfahren erörtert werden, damit frühzeitig unter Einbeziehung der Argumente der genannten Kreise Lösungen gesucht werden können.

Grundlegende Voraussetzung ist die sorgfältige und fehlerfreie Projektplanung unter Beachtung der zutreffenden Gesetze und der untergesetzlichen Regelwerke, der Normen, der Richtlinien und der einschlägigen Rechtsprechung. Zudem ist eine frühzeitige und umfassende Öffentlichkeitsarbeit Voraussetzung für den Projekterfolg.

Der Gesetzgeber ist gefordert, den im Baugesetz normierten Landschafts- und Ortsbildschutz für die Errichtung von Windkraftanlagen, Netzen und Speichern zu konkretisieren. Zu berücksichtigen ist ferner das im Baugesetz geregelte kommunale Abstimmungsgebot, wonach Bauleitpläne benachbarter Gemeinden aufeinander abzustimmen sind.

Der Bau von Windkraftanlagen, Netzen und Speichern ist durch Raumordnungspläne zu steuern, bei denen die betroffenen Kommunen zu beteiligen sind.

Von Grundstückseignern befürchtete Wertminderung von Immobilien wird regelmäßig nur anerkannt, wenn von unzumutbaren Beeinträchtigungen der Nutzungsmöglichkeit der Grundstücke auszugehen ist. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn die Immissionen das zulässige Maß überschreiten. Häufig kann eine messbare Wertminderung nicht nachgewiesen werden, obwohl sie tatsächlich – z.B. aus ästhetischen Gründen – auftreten kann. Dies wird möglicherweise Betroffene schon bei Bekanntwerden der Planung zu Zusammenschlüssen, z.B. zu Bürgerinitiativen motivieren, um Projekte zu verhindern. Hierauf sollten sich die verantwortlichen Planer vorbereiten.

Wesentliche Stolpersteine sind Erörterungstermine. Häufig sind die Vertreter der Vorhabensträger schlechter als diejenigen der Einwender vorbereitet. Damit einhergehende Pannen können durch gründliche Vorbereitung unter Nutzung von Erfahrungen mit ähnlich gelagerten Projekten vermieden werden.

Für ihre kritisch-konstruktiven Anregungen und die sorgfältige Überarbeitung bin ich Frau Dr. Stephanie Thiel zu großem Dank verpflichtet.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Immissionsschutz – Band 2

– Planung, Genehmigung und Betrieb von Anlagen –
Karl J. Thomé-Kozmiensky, Matthias Dombert, Andrea Versteyl,
Wolfgang Rotard, Markus Appel.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-75-7

ISBN 978-3-935317-75-7 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M. Sc., Janin Burbott

Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.