K. J. Thomé-Kozmiensky

# ERNEUERBARE ENERGIEN

Band 1

## Perspektiven und Strategien
## Rechtliche und wirtschaftliche Aspekte



Karl J. Thomé-Kozmiensky

# Erneuerbare Energien

## Band 1

### Perspektiven und Strategien

### Rechtliche und wirtschaftliche Aspekte

TK

Erneuerbare Energien – das heißt 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. Professor Faulstich, Vorsitzender des Sachverständigenrats für Umweltfragen, stellt die Frage, ob hundert Prozent erneuerbare Energien bis 2050 möglich sind. Der Bundesverband Erneuerbarer Energien hält einen Anteil von fünfzig Prozent Ökostrom am gesamten Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2020 für möglich. Die Bundesregierung gibt das Dreißig-Prozent-Ziel vor. Professor Vahrenholt hält es in einem Spiegel-Interview für möglich, 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. Nach Berechnungen des Statistischen Bundesamts lag in 2007 der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung bei 14 Prozent. Aber der Energiebedarf wird nach Überwindung der Rezession 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. Ein Schwerpunkt ist auch der relativ neue Themenkreis der Offshore-Windparks.

Hier werden nicht nur die Strategien führender Konzerne und engagierter Newcomer präsentiert, auch rechtliche und wirtschaftliche Aspekte werden von erfahrenen Kanzleien und Consultingunternehmen vorgestellt.

November 2009

*Professor*
*Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky*

# Inhaltsverzeichnis

## Perspektiven und Strategien

**Hundert Prozent erneuerbare Energien bis 2050?**
Anna Leipprand, Michael Sterner und Martin Faulstich ..... 3

**Versorgungssicherheit mit nachhaltigen Energiesystemen**
Karl-Friedrich Ziegahn ..... 23

**Wie können zehn Milliarden Menschen auf dieser Erde leben?**
**– Das Desertec Konzept –**
Gerhard Knies, Gerhard Timm, Friedrich Führ,
Max Schön und Michael Straub ..... 33

**Windenergie – Wunsch und Wirklichkeit**
Dirk Briese ..... 43

**Strategie zur Nutzung alternativer Energieträger**
Thomas Billotet ..... 57

**Making Electricity Clean**
**– Strategien in eine klimafreundliche Zukunft –**
Frank May ..... 67

**Beitrag der erneuerbaren Energien im zukünftigen Energiemix**
Holger Gassner ..... 77

**E.ON Climate & Renewables: Entwicklung der erneuerbaren Energien vom Boutique-Maßstab zum Industriestandard**
Thorsten Schneiders ..... 93

**Neue Energie für Hamburg**
Michael Beckereit ..... 99

## Rechtliche Aspekte

**Rechtliche Instrumente zur Standortsicherung von Energieversorgungsanlagen und zum Ausbau erneuerbarer Energien**
Andrea Versteyl ..... 107

**Rahmenbedingungen und Entwicklung der Offshore-Windkraft in Deutschland**
Jörg Kuhbier ..... 121

**Rechtliche Rahmenbedingungen für die Errichtung von Offshore-Windparks**
Christoph Riese ..... 131

**Offshore-Windenergienutzung im Küstenmeer – Genehmigungsverfahren nicht ohne Tücken –**
Jürgen Millat ..... 145

**Optimierung des Klimaschutzbeitrages von Biogas durch Abrücken vom Ausschließlichkeitsprinzip des EEG – Praxisbeispiele: Bestandsanlagen, Inputflexibilität, Kampagnenwechsel, Beimischung –**
Henning Prüß, Katja Danzeisen und Volker Gass ..... 171

**Biomasseverbrennungsanlagen – Immissionsschutzrechtliche und ökologische Aspekte –**
Norbert Suritsch ..... 187

## Wirtschaftliche Aspekte

**Perspektiven der Wirtschaftlichkeit von Wind- und Solarkraftwerken im Vergleich**
Andreas Wiese ..... 197

**Marktparität erneuerbarer Energie aus Wind und Photovoltaik**
Knut Schrader und Ralf Schemm ..... 209

**Netzstabilität und Verfügbarkeit von Kraftwerken – Einfluss der Windenergie –**
Johannes Kempmann ..... 215

**Projektfinanzierung im Markt für erneuerbare Energien – Herausforderungen im Bereich Offshore Wind –**
Oliver Lohse ..... 221

**Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen in Deutschland und Europa**
Frank Höppner ..... 239

**Technik und Wirtschaftlichkeit der Bioabfall- und Restabfallbehandlung**
Thomas Turk, Martin Idelmann und Jürgen Hake ..... 247

**Biogas – Marktentwicklung und systematische Standortsuche**
Thomas Hein ..... 263

**Beitrag der Abfallwirtschaft zur Energie- und Rohstoffversorgung in Deutschland**
Karl J. Thomé-Kozmiensky und Stephanie Thiel ..... 271

**Dank** ..... 303

**Autorenverzeichnis** ..... 307

**Inserentenverzeichnis** ..... 317

**Schlagwortverzeichnis** ..... 323

# Perspektiven und Strategien

# Hundert Prozent erneuerbare Energien bis 2050?

Anna Leipprand, Michael Sterner und Martin Faulstich

1. Die Energieversorgung der Zukunft: $CO_2$-frei, nachhaltig, sicher ..... 3

2. Voraussetzung: Die Senkung des Energieverbrauchs ..... 5

3. Erneuerbare Energien: Potenziale und Grenzen ..... 7

3.1. Strom ..... 8

3.2. Wärme ..... 11

3.3. Mobilität ..... 13

4. Systemlösungen: Integriert und international ..... 15

5. Fazit ..... 18

6. Literatur ..... 19

## 1. Die Energieversorgung der Zukunft: $CO_2$-frei, nachhaltig, sicher

Heute beruht die Energieversorgung in Deutschland zu gut achtzig Prozent auf fossilen Energieträgern [7]. Die Kernenergie deckt etwa sechs Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs [2]. Gleichzeitig steht die Vision einer Energieversorgung der Zukunft im Raum, die vollständig oder nahezu vollständig auf erneuerbaren Energien basiert. Es gibt dringende Gründe darauf hinzuarbeiten, dass diese Vision Schritt für Schritt Wirklichkeit wird.

Zunächst stößt die Nutzung fossiler Energieträger an Grenzen, die in erster Linie in der Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre für Treibhausgase liegen. Staaten und internationale Organisationen haben die Notwendigkeit anerkannt, den Wandel des globalen Klimas in vertretbaren Grenzen zu halten. Als Leitplanke hierfür dient das Ziel, die Erwärmung um nicht mehr als 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten ansteigen zu lassen [37]. Dementsprechend haben sich die internationalen Akteure mehr oder weniger ehrgeizige Ziele gesetzt, die Emissionen von Treibhausgasen in den kommenden Jahrzehnten zu reduzieren. Die Europäische Union (EU) strebt für das Jahr 2020 eine Treibhausgasreduktion von bis zu dreißig Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 an, sofern andere Industrieländer sich zu vergleichbaren Reduktionen und die wirtschaftlich weiter fortgeschrittenen Entwicklungsländer zu einem angemessenen Beitrag verpflichten. Ziel der deutschen Bundesregierung ist es, die Emissionen Deutschlands bis 2020 um vierzig Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren.

Der Weltklimarat (IPCC) hält bis zum Jahr 2050 eine globale Reduktion der $CO_2$-Emissionen um 50 bis 85 Prozent gegenüber dem Jahr 2000 für notwendig, um das 2 °C-Ziel zu erreichen. Für die Industrieländer bedeutet dies Reduktionen von 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 [13]. Auch die Europäische Kommission geht in ihrer Mitteilung zur Vorbereitung der Klimakonferenz von Kopenhagen mittlerweile von diesem anspruchsvolleren Zielkorridor aus [8].

Die energiebedingten $CO_2$-Emissionen tragen in Deutschland zu über 95 Prozent der gesamten $CO_2$-Emissionen und zu rund achtzig Prozent aller Treibhausgasemissionen bei [34]. Die Energiewirtschaft muss deshalb in Diskussionen über eine klimafreundliche Umgestaltung des Wirtschaftssystems eine zentrale Rolle spielen. Deutschland kann seinen Beitrag zur globalen Emissionsreduktion nur leisten, wenn die Energieversorgung bis 2050 weitgehend vollständig dekarbonisiert wird. Um den globalen Klimawandel wirksam aufzuhalten, sind selbstverständlich Maßnahmen weltweit, insbesondere in allen Industrie- und in den großen Entwicklungs- und Schwellenländern nötig, andernfalls besteht die Gefahr von Brennstoff- und Kohlendioxidverschiebungen (carbon leakage; [38]). Die Verhandlungen um globale Klimaschutzverpflichtungen stocken allerdings regelmäßig auch deshalb, weil die Entwicklungs- und Schwellenländer die Anstrengungen der Industrieländer als ihrer historischen Verantwortung nicht angemessen empfinden und daher selbst nicht zu Zugeständnissen bereit sind. Würde ein Land wie Deutschland, das bisher überwiegend auf fossile Energien gesetzt hat, zeigen, dass eine Umgestaltung hin zu erneuerbaren Energien möglich ist, würde dies auch ein entscheidendes Signal für den internationalen Klimaschutzprozess bedeuten.

Ein weiterer Grund, langfristig auf erneuerbare Energien umzusteigen, liegt in der begrenzten Verfügbarkeit von fossilen Energierohstoffen und Uran. Bild 1 zeigt die Reichweiten von nichtregenerativen Energieträgern [4]. Die Darstellung unterscheidet zwischen den Rohstoffreserven, also allen derzeit bekannten und technisch-wirtschaftlich zu gewinnenden Vorkommen, und den Ressourcen. Mit dem Begriff Ressourcen werden sowohl die derzeit noch nicht wirtschaftlich gewinnbaren bekannten Vorräte sowie die aufgrund geologischer Indikatoren erwarteten, aber noch nicht nachgewiesenen Lagerstätten bezeichnet. Die Angaben setzen ferner die Annahme eines gleich bleibenden Verbrauchs voraus (*statische Reichweite*).

Während bei Erdöl, Erdgas und Uran physische Knappheiten der Rohstoffe bereits in diesem Jahrhundert absehbar sind, wird Kohle möglicherweise noch für sehr lange Zeiträume verfügbar sein. Allerdings sind die Schätzungen verschiedener Autoren zu den Reichweiten der Energierohstoffe sehr unterschiedlich. Während die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe die weitere Verfügbarkeit der Kohle optimistisch einschätzt, finden andere Studien Hinweise darauf, dass die Kohlevorräte schneller knapp werden könnten als bisher angenommen [39, 15].

In jedem Fall ist damit zu rechnen, dass die Qualität der Vorkommen sinkt, der *Energy Return on Investment* (EROI), also das Verhältnis zwischen der für die Gewinnung des Energierohstoffs eingesetzten Energie und dem Ertrag,

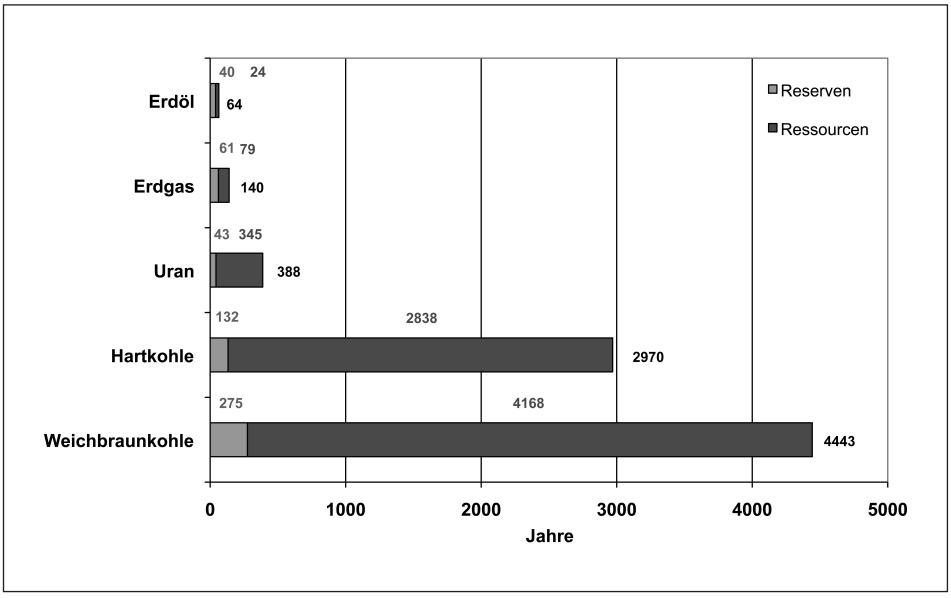



Bild 1: Reichweite von nichtregenerativen Energierohstoffen

Quelle: Daten aus: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Energierohstoffe. Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit. Hannover, 2009; eigene Darstellung

abnimmt, und dass dadurch die Kosten der Förderung und damit auch die Preise des Rohstoffs steigen werden [12]. Dieser Trend würde durch eine großflächige Anwendung von Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid – Carbon Capture and Storage, CCS – und den damit verbundenen erhöhten Brennstoffbedarf zusätzlich beschleunigt. Da gleichzeitig die Kosten der erneuerbaren Energien durch technologischen Fortschritt und Skaleneffekte zukünftig voraussichtlich sinken werden, werden wohl wirtschaftliche Gründe einen Ersatz nichtregenerativer durch regenerative Energien befördern, lange bevor die physischen Grenzen der Verfügbarkeit tatsächlich erreicht sind.

## 2. Voraussetzung: Die Senkung des Energieverbrauchs

Das natürliche Angebot erneuerbarer Energieströme – etwa einstrahlende Solarenergie, kinetische Energie des Windes und der Meereswellen und -strömungen – ist weltweit außerordentlich groß und übersteigt den globalen Energiebedarf um ein Vielfaches [16]. Allerdings sind diese physikalischen Potenziale räumlich sehr ungleich verteilt, und ihre Nutzung stößt an technische, strukturelle und ökologische Grenzen. So werden etwa für den Anbau von Biomasse oder für die Installation von Wind- und Solarkraftwerken große Flächen benötigt, was insbesondere in dicht besiedelten Ländern wie Deutschland zu Konflikten führen kann. Auch der Bau von Windkraftanlagen und Stromübertragungsnetzen kann auf Ablehnung oder Widerstand in der Bevölkerung stoßen. Da die Energiedichte

vieler erneuerbarer Energieträger vergleichsweise gering ist, wird der Flächenbedarf für die Energiegewinnung steigen. Eingriffe in den Naturhaushalt und das Landschaftsbild sind auch bei erneuerbaren Energien nicht zu vermeiden, und verschiedene Anliegen des Umweltschutzes müssen gegeneinander abgewogen werden.

Die erneuerbaren Energien können deshalb umso leichter hohe Anteile an der Energieversorgung erreichen, je stärker der Energieverbrauch insgesamt gesenkt wird. Steigt die Nachfrage nach Energie dagegen an, wächst der Druck, entweder End-of-Pipe-Technologien wie die Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS) zur Reduzierung von $CO_2$-Emissionen einzusetzen, oder erneuerbare Energien in größerem Umfang zu importieren.

Integraler Bestandteil aller Szenarien für den Ausbau erneuerbarer Energien ist deshalb die weitere Mobilisierung des noch erheblichen Effizienzpotenzials. Die Senkung des Energieverbrauchs kann dazu beitragen, kostengünstige Klimaschutzpotenziale zu erschließen, Konflikte zu minimieren, die Sicherheit der Energieversorgung zu verbessern, und die Robustheit und Effizienz des Energieversorgungssystems insgesamt zu erhöhen. Hierfür ist die Steigerung der Effizienz auf allen Stufen der Energienutzung notwendig; Potenziale sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite müssen genutzt werden [31].

Dabei darf allerdings Effizienzsteigerung bei einzelnen Anwendungen nicht mit Energieeinsparung auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene gleichgesetzt werden. Effizienzsteigerung kann sogar insgesamt zu einem höheren Verbrauch führen, wenn dadurch die Kosten der Ressourcennutzung sinken und die Nachfrage steigt. Historisch gesehen gingen Effizienzsteigerungen, Verbrauchssteigerungen und wirtschaftliches Wachstum häufig Hand in Hand [23, 11, 14].

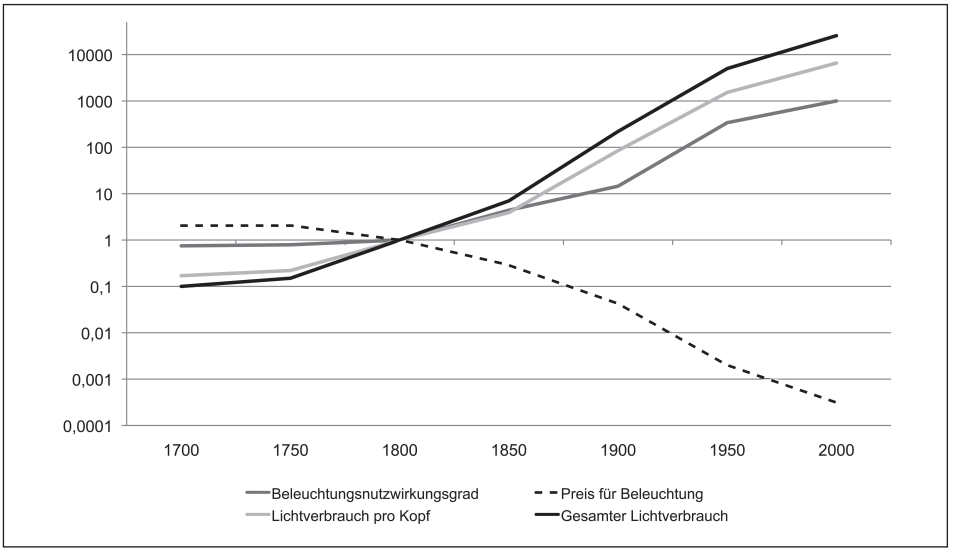



Bild 2: Entwicklung der Beleuchtung in Großbritannien zwischen 1700 und 2000; normierte Variablen (1800 = 1, logarithmische Skala)

Quelle: Fouquet, R.; Pearson, P. J. G.: Seven Centuries of Energy Services: The Price and Use of Light in the United Kingdom (1300-2000). The Energy Journal 27 (1), 2006, S. 139-177

Bild 2 illustriert diesen *Rebound-Effekt* am Beispiel des Lichtverbrauchs in Großbritannien in historischer Perspektive. Die enorme Steigerung des Wirkungsgrades und die fallenden Preise machten erst die Nutzung von künstlicher Beleuchtung in größerem Umfang möglich. Sowohl der Lichtverbrauch pro Kopf als auch der gesamte absolute Lichtverbrauch stiegen stärker an als der Wirkungsgrad.

Eine erfolgreiche Energieeinsparpolitik muss deshalb einerseits Anreize setzen, die Effizienz auf allen Ebenen zu steigern, sie muss aber gleichzeitig Wege finden, den Gesamtverbrauch zu begrenzen. Bisher besteht eine solche Gesamtbegrenzung nur für Teilbereiche des Energiesystems durch den europäischen Emissionshandel.

## 3. Erneuerbare Energien: Potenziale und Grenzen

Energie wird in drei verschiedenen Formen genutzt: als Wärme (thermische Energie), Strom (elektrische Energie) und Kraftstoff bzw. mechanische Energie in der Mobilität. Bild 3 illustriert die Anteile dieser Sektoren am Endenergieverbrauch in Deutschland. Die Wärmebereitstellung macht etwa die Hälfte des Endenergieverbrauchs aus, knapp ein Drittel der Energie wird als Kraftstoff und gut ein Fünftel in Form von Strom genutzt. Wegen der hohen Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung verbraucht der Stromsektor allerdings fast vierzig Prozent der eingesetzten Primärenergie und ist auch für etwa vierzig Prozent der gesamten deutschen $CO_2$-Emissionen verantwortlich [33].

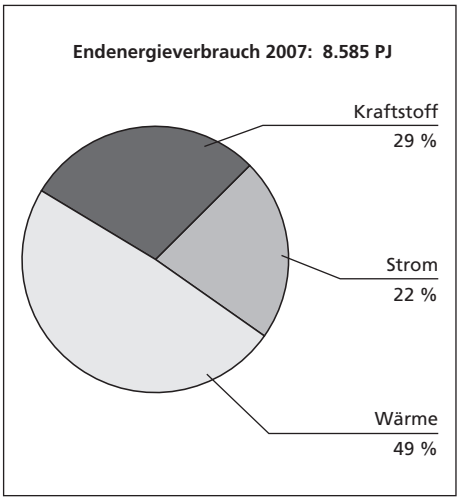



Bild 3: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in Deutschland 2007

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2008): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2007. http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=139 (07.10.2009)

Ein mögliches Szenario für die Entwicklung der deutschen Energieversorgung beschreibt die für das BMU erstellte und regelmäßig aktualisierte Leitstudie [18]. Das *Leitszenario* legt dar, wie die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2050 um rund achtzig Prozent reduziert werden können. Dabei tragen der Ausbau der erneuerbaren Energien, aber auch Einsparungen durch Effizienzsteigerung, wesentlich zur Senkung der Emissionen bei. Bild 4 illustriert die Entwicklung im Leitszenario bis zur Mitte des Jahrhunderts.

Der gesamte Endenergieverbrauch sinkt im Leitszenario bis 2050 um 33 Prozent gegenüber 2008; die erneuerbaren Energien erreichen dann einen Anteil von 54 Prozent. Der Bruttostromverbrauch sinkt nur geringfügig (um etwa drei Prozent), da ein steigender Strombedarf im Verkehrssektor

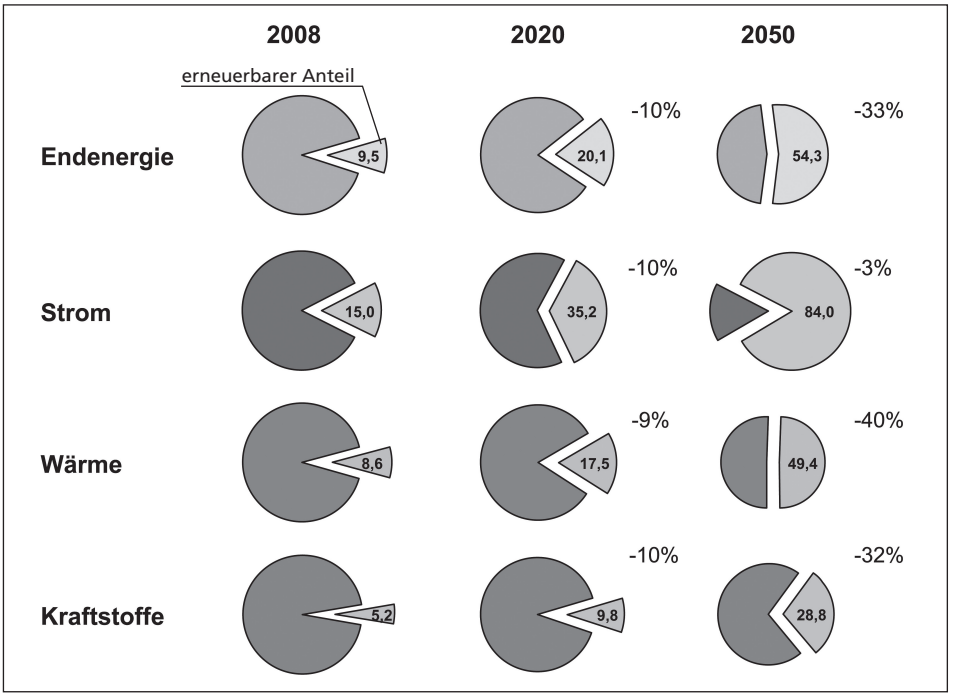



Bild 4: Leitszenario 2009: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der erneuerbaren Anteile – Die Größe der Kreisflächen gibt die Veränderung des jeweiligen Verbrauchs gegenüber 2008 wieder. Die jeweils heller gefärbten Kreissegmente stellen den Anteil der erneuerbaren Energien dar. Für Wärme und Kraftstoffe ist der Endenergieverbrauch, für Strom die Bruttostromerzeugung dargestellt.

Quelle: Nitsch, J.; Wenzel, B.: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland. Leitszenario 2009. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Reihe Umweltpolitik, 2009. Darstellung verändert nach: Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin, Stand: Juni 2009

angenommen wird, dennoch steigt der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung auf über achtzig Prozent. Die Wärmenachfrage bis 2050 sinkt um vierzig Prozent; die Hälfte des verbleibenden Verbrauchs kann dann durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Die Nachfrage nach Kraftstoffen geht um gut dreißig Prozent zurück, der Anteil der erneuerbaren Kraftstoffe steigt auf 29 Prozent.

Bild 4 verdeutlicht, dass die Voraussetzungen für den Einsatz erneuerbarer Energien in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität sehr unterschiedlich sind. Im Folgenden werden diese Voraussetzungen genauer betrachtet.

## 3.1. Strom

Seit Mitte der neunziger Jahre bis 2007 hat der Bruttostromverbrauch in Deutschland kontinuierlich zugenommen, in 2008 ging er konjunkturbedingt etwas zurück. Die Prognosen, wie sich der Stromverbrauch in Zukunft entwickeln wird, sind unterschiedlich. Bei konservativen Szenarien, die im Wesentlichen

von einer Fortführung bisheriger Politik ausgehen, steigt der Stromverbrauch in der Tendenz zumindest mittelfristig weiter an [9]. Technische und ökonomische Einsparpotenziale bestehen jedoch zweifelsohne, und andere Studien halten eine Reduktion des Verbrauchs zwischen 5 und 15 Prozent für möglich (z.B. [35, 3]). Im Energiegipfelprozess 2007 wurde ein Bruttostromverbrauch von etwa 550 TWh im Jahr 2020 angenommen, was einer Reduktion um etwa zehn Prozent gegenüber 2007 entspricht [20, 9]. Die Leitstudie legt zwar eine Einsparung dieser Größenordnung in den herkömmlichen Verwendungsbereichen für Strom zugrunde; diese werden allerdings durch die zunehmende Bedeutung neuer Anwendungen insbesondere im Verkehrsbereich (Elektromobilität) und Wärmebereich (elektrische Wärmepumpen) längerfristig wieder ausgeglichen, so dass der Stromverbrauch 2050 etwa so hoch ist wie im Jahr 2008 (siehe oben).

Bereits eine solche Stabilisierung des Verbrauchs erfordert jedoch angesichts des bisher ungebremsten Anstiegs eine starke Steigerung der Stromproduktivität. Sie ist dringend geboten als Voraussetzung für eine nachhaltige Stromversorgung (Bild 5).

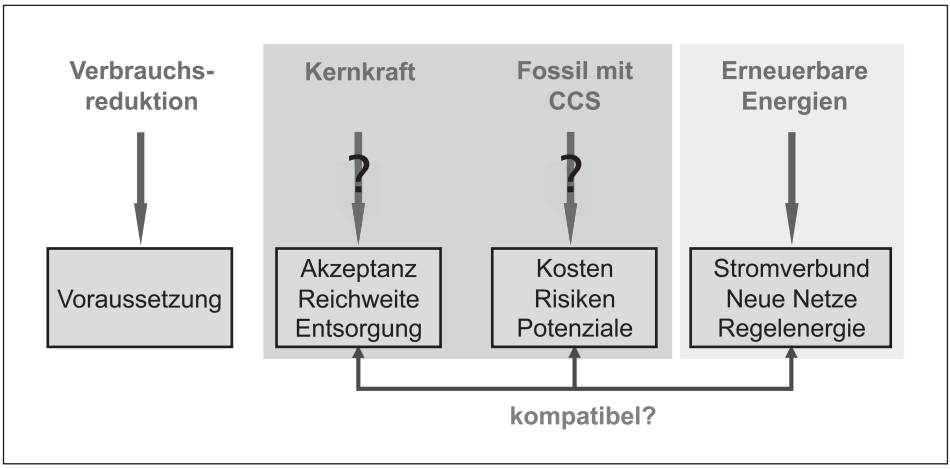



Bild 5: Nachhaltige Stromversorgung

Für die Zukunft der Stromerzeugung in Deutschland sind grundsätzlich vier verschiedene Optionen denkbar.

Option 1: Die Erneuerung des vorhandenen Kraftwerksparks – vor allem Kohlekraftwerke – ohne Einsatz von Kohlendioxidabscheidung und Speicherung (CCS);

Option 2: Die spätere Erneuerung des vorhandenen Kraftwerksparks – vor allem Kohlekraftwerke – mit Einsatz von CCS ab etwa 2020;

Option 3: Die Laufzeitverlängerung, der Ausbau und Neubau von Atomkraftwerken;

Option 4: Der Ausbau der erneuerbaren Energien.

Diese Optionen sind allerdings nur begrenzt miteinander vereinbar. Hier steht in den kommenden Jahren eine Systementscheidung an. Aus der Sicht des Sachverständigenrats für Umweltfragen kann nur die letzte Option, der möglichst vollständige Umstieg auf erneuerbare Energien, eine langfristig sichere und nachhaltige Stromversorgung gewährleisten [25].

Option 1, die Beibehaltung einer zum großen Teil fossilen Stromerzeugung, scheidet aus, da sie nicht mit den Klimaschutzzielen vereinbar ist. Wird für Deutschland eine $CO_2$-Reduktion von achtzig Prozent als Zielniveau angenommen, so ist hiermit nur ein sehr begrenzter Neubau an Kohlekraftwerken (ohne CCS) kompatibel. Die Leitstudie 2008 [17] errechnet einen insgesamt noch vertretbaren Neubau von etwa 10 GW an Kohlekraftwerken. Dementsprechend niedriger wären die noch vertretbaren Kapazitäten konventioneller Kohlekraftwerke bei einem Zielniveau von minus 95 Prozent für den Strombereich. Derzeit befinden sich neue Kohlekraftwerke mit einer Leistung von über 20 GW in Bau oder in der konkreten Planung. Werden diese Planungen umgesetzt, riskiert Deutschland damit, sich die Chance auf einen klimaverträglichen Entwicklungspfad zu *verbauen* und den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien zu bremsen.

Die weitere Stromproduktion aus Stein- und Braunkohle wäre wegen ihrer hohen Treibhausgasemissionen nur dann mit den Klimaschutzzielen vereinbar, wenn die $CO_2$-Abscheidung und -speicherung in großem Maßstab realisiert würde (Option 2). Bisher ist jedoch nicht geklärt, ob der Einsatz von CCS im Zusammenhang mit der Stromerzeugung aus Kohle als Klimaschutzmaßnahme in Deutschland sinnvoll und effizient ist [24]. Entscheidend ist hier zunächst die Frage nach den Kapazitäten für die unterirdische Speicherung von Kohlendioxid in Deutschland und weltweit. Verlässliche Zahlen hierzu liegen bisher nicht vor, sicher ist nur, dass sie begrenzt sind. Darüber hinaus müssen Nutzungskonkurrenzen, etwa mit der Geothermie oder der Einrichtung von Druckluft- und Wärmespeichern, beachtet und ökologische Risiken besser erforscht werden. Zudem ist davon auszugehen, dass die erneuerbaren Energien langfristig die volkswirtschaftlich günstigere Lösung zur Reduktion der Emissionen darstellen. Falls CCS eingesetzt wird, wäre es sinnvoller, die begrenzten Speicherkapazitäten für die $CO_2$-Emissionen der Industrie – vor allem Stahl- und Zementwerke – oder zu einem späteren Zeitpunkt für die Speicherung von $CO_2$ aus der Biomasseverbrennung – Entzug von $CO_2$ aus der Atmosphäre – zu nutzen [32]. Ein Neubau von Kohlekraftwerken zum heutigen Zeitpunkt lässt sich aus diesen Gründen nicht mit der Aussicht auf eine spätere CCS-Nachrüstung rechtfertigen.

Die Vor- und Nachteile der Kernenergie werden derzeit wieder intensiv diskutiert. Dass die Nutzung der Kernenergie aufgrund der mit ihr verbundenen Risiken nicht die Kriterien der nachhaltigen Entwicklung erfüllt, wurde umfassend nachgewiesen (z.B. [29]). In der aktuellen Debatte muss aber vor allem beachtet werden, dass weder die Verlängerung der Laufzeiten von Atomkraftwerken noch der Einsatz von CCS für den Übergang zu einer nachhaltigen Stromversorgung notwendig sind, und dass beide sogar den Ausbau der erneuerbaren Energien behindern können.

Kohle- und Kernkraftwerke zeichnen sich durch hohe Investitionskosten und vergleichsweise niedrige Brennstoffkosten aus und sind deshalb nur dann wirtschaftlich, wenn sie mit einer hohen Auslastung gefahren werden. In einem Energiesystem mit hohen Anteilen fluktuierender Stromeinspeisung aus regenerativen Energiequellen sind solche großen, unflexiblen Kraftwerke nicht mehr geeignet, die notwendigen Aufgaben regelbarer Kraftwerkskapazitäten in dem neuen Energiesystem sinnvoll und kostengünstig zu erfüllen. Der Bedarf an Grundlastkraftwerken wird dementsprechend in Zukunft stark sinken [22]. Vielmehr werden schnell startende Kraftwerke und Kraftwerke mit gutem Regelverhalten benötigt. Dies bedeutet, dass bei den in nächster Zeit anstehenden Investitionsentscheidungen nicht Kohle- oder Kernkraftwerke gebaut werden sollten, sondern dass Kraftwerke mit geringeren Anfangsinvestitionen und eventuell höheren Brennstoffkosten, zum Beispiel gasbefeuerte Kraftwerke, zu bevorzugen sind [25].

Die Potenziale der erneuerbaren Energien in Deutschland und Europa reichen aus, um den Strombedarf vollständig zu decken. Nach der Leitstudie können im Jahr 2050 84 Prozent des Bruttostromverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt werden (Leitszenario, siehe Bild 4). Experten halten auch eine hundertprozentige Versorgung auf erneuerbarer Basis für möglich, insbesondere dann, wenn ein Ausgleich über einen europäischen Stromverbund stattfinden kann. Die nächste Aktualisierung der Leitstudie wird ein solches 100 %-Szenario enthalten.

Hierfür muss allerdings das Elektrizitätsversorgungssystem an neue Anforderungen angepasst werden. Für die Integration eines hohen Anteils erneuerbarer Energien, deren Beitrag im Falle der Wind- und Solarenergie variiert, sind flexible Kraftwerke für ergänzende Regelleistung, der Ausbau der Speichersysteme für Strom, der Ausbau von Netzen für einen weiträumigen Ausgleich, und ein effektives Nachfragemanagement notwendig. Der Ausbau der erneuerbaren Energien muss einerseits mit einer verstärkten Nutzung technischer und wirtschaftlicher Potenziale für ein flexibles Stromerzeugungssystem und andererseits mit einem Ausbau der Elektrizitätsnetze einhergehen.

## 3.2. Wärme

Im Wärmemarkt werden derzeit 40 Prozent der energiebedingten $CO_2$-Emissionen erzeugt. Gut die Hälfte der Wärme wird für die Raumheizung, 30 Prozent für Prozesswärme in der Industrie und 15 Prozent für Warmwasser und Prozesswärme in Haushalten und der Kleinverbraucher verwendet. Derzeit spielen erneuerbare Energien in der Wärmebereitstellung mit 9 Prozent (2008) noch eine relativ geringe Rolle [18]. Gegenüber dem Strombereich stellen sich die Möglichkeiten für den Einsatz erneuerbarer Energien deutlich anders dar.

Zunächst bestehen im Wärmemarkt deutlich größere ökonomisch erschließbare Einsparpotenziale. Die Leitstudie geht davon aus, dass die Energienachfrage für Raumwärme bis 2050 auf etwa sechzig Prozent des Wertes von 2008 sinken kann. Hierfür ist eine umfassende Sanierung des Gebäudebestandes notwendig, die jedoch durch eine Reihe von Hemmnissen erschwert wird. Zu diesen Hindernissen gehören mangelnde Information, ungenügendes Fachwissen, mangelnde

Abstimmung der beteiligten Akteure, fehlende Anreize – z.B. Mieter-Vermieter-Dilemma – und/oder mangelnde Bereitschaft von Hausbesitzern. Zudem bleiben die Modernisierungsinvestitionen in der Wohnungswirtschaft seit Jahren weit hinter den Neubauinvestitionen zurück, so dass der zusätzliche Energieverbrauch neu erstellter Wohnungen die Energieverbrauchsminderungen in modernisierten Wohnungen kompensiert [26].

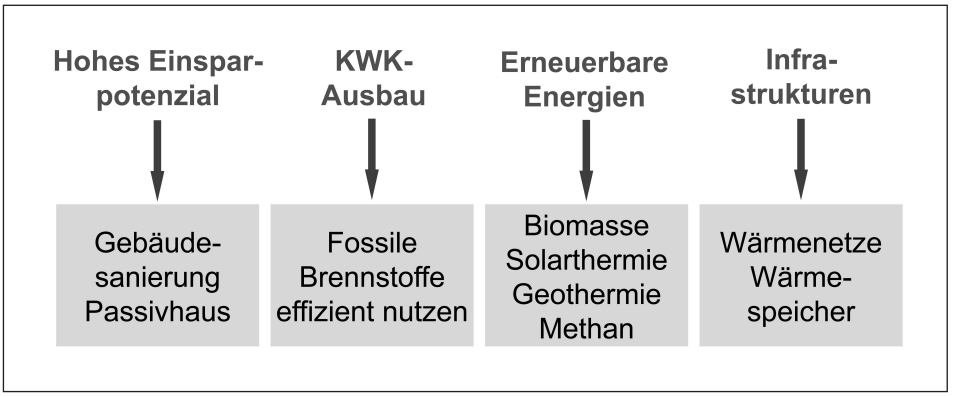



Bild 6: Nachhaltige Wärmeversorgung

Verstärkte Bemühungen sind nötig, die Einsparpotenziale im Gebäudebereich zu erschließen, da nur dann der relative Beitrag der erneuerbaren Energien im Raumwärmebereich in absehbarer Zeit deutlich gesteigert werden kann. Heute spielt unter den erneuerbaren Energien nur die Biomasse eine wesentliche Rolle in der Wärmebereitstellung. Die nachhaltige Nutzung von Biomasse stößt allerdings an Grenzen. Sonnenkollektoren und Geothermie (Elektrowärmepumpen) werden deshalb zukünftig eine zunehmend wichtige Rolle spielen.

Um erneuerbare Energien im Wärmemarkt verstärkt nutzen zu können, sind neue Versorgungs- und Vertriebsstrukturen notwendig. Derzeit werden vor allem einzelne Gebäude regenerativ versorgt. Als Infrastrukturvoraussetzungen für eine verstärkte Nutzung von Sonnenkollektoren und Geothermie sollte die gemeinsame Versorgung mehrerer Gebäude über Nahwärmenetze ausgebaut werden. Dadurch können größere Aggregate eingesetzt werden, die geringere spezifische Investitionskosten aufweisen, etwa solare Großanlagen oder Biomasse-Nahwärmenetze mit optionaler Stromerzeugung. Auch die Nutzung geothermischer Wärme aus mehr als zweitausend Metern Tiefe ist erst ökonomisch darstellbar, wenn eine größere Anzahl von Verbrauchern gleichzeitig versorgt wird. Zudem können Speichertechnologien leichter eingesetzt und durch die Kopplung verschiedenartiger erneuerbarer Energieträger ein Ausgleich fluktuierender Wärmebereitstellung geschaffen werden [19, 6].

Aufgrund der besonderen Struktur des Wärmemarktes und der aktuell begrenzten Möglichkeiten, erneuerbare Energien einzusetzen, werden fossile Energieträger in der näheren Zukunft weiterhin genutzt werden müssen. Um

dennoch die $CO_2$-Emissionen im notwendigen Umfang zu reduzieren, muss die fossile Wärmebereitstellung so effizient wie möglich, also durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), erfolgen. Auch bei der Biomasse-KWK sind noch wesentliche Steigerungen möglich.

Hundert Prozent erneuerbare Energien sind im Wärmemarkt in seiner heutigen Struktur noch schwer vorstellbar; durch Einsparung und Effizienzsteigerungen in Verbindung mit einer Ausbaustrategie für erneuerbare Energien lassen sich aber die Emissionen dieses Sektors deutlich reduzieren. Weitergehende Möglichkeiten für den Ersatz fossiler durch erneuerbare Energieträger ließen sich durch neue, integrierte Systemansätze der Energieversorgung wie das *Renewable Power Methane*-Konzept schaffen (Kapitel 4).

## 3.3. Mobilität

Das Verkehrssystem kann in seiner derzeitigen Struktur und in der Quantität des Verkehrsaufkommens kaum vollständig auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. Für die bestehende Automobilflotte würde dies bedeuten, fossile Treibstoffe durch Biokraftstoffe zu ersetzen. Dies ist aber aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasseressourcen – bzw. der für den Anbau notwendigen Flächen –, ökologischer Nachteile, der insgesamt geringen Klimaschutzeffizienz und der hohen Klimagasminderungskosten weder möglich noch sinnvoll [27, 36]. Die für die Produktion von Biodiesel und Bioethanol der *ersten Generation* zur Verfügung stehenden einheimischen Flächen reichen nur zur Substitution von wenigen Prozent der Treibstoffmenge. Deutlich höhere Mengen lassen sich nur über den massiven Import aus Osteuropa, Südamerika und Südostasien realisieren. Dazu sind jedoch zunächst ökologische Standards zu definieren und später zu zertifizieren. Zudem müssen in den genannten Ländern mögliche Konkurrenzen zur Nahrungsmittelproduktion bedacht werden, die sich durch den international vernetzen Handel auch global auswirken.

Neue Antriebstechniken und eine Umstellung auf andere Energieformen, beispielsweise Wasserstoff oder Elektrizität, bieten hier größere Potenziale. Insbesondere die Zukunft der Elektromobilität wird derzeit intensiv diskutiert. Ob Elektromobilität wesentlich zum Klimaschutz beiträgt, hängt davon ab, ob der eingesetzte Strom aus fossilen oder erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird. Solange der Großteil des Stroms fossil produziert wird, sind die Vorteile der Elektromobilität aus Klimaschutzsicht gering. Andererseits bietet der Elektromotor zumindest die Möglichkeit, individuelle Mobilität in großem Umfang auf der Basis erneuerbarer Energien bereitzustellen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Überwindung technischer Herausforderungen, etwa die Optimierung der Batterie im Fahrzeug, noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Auch der soeben von der Bundesregierung verabschiedete Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität verfolgt nur das mäßig ehrgeizige Ziel, bis zum Jahr 2020 eine Million elektrisch betriebener Fahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu bringen. Andere Konzepte sehen Wasserstoff oder erneuerbares Methan als Energieträger für die Mobilität der Zukunft (Kapitel 4).

# Schlagwortverzeichnis

## A


Abfall 274
  -aufbereitung
    als Voraussetzung
      für die Verwertung 277
  -aufkommen
    in Deutschland 272
  -behandlung
    thermische 274, 283
  -rahmenrichtlinie 274
  -verbrennungsanlagen
    Energienutzung 284
    in Deutschland 282
  -vermeidung 274
  -vermeidungsprogramme 274
  -verwertung 277
Abwärmepotenziale
  industrielle 59
Adsorptionswärmetauscher 27
Akzeptanz
  gesellschaftliche 91
Altholz
  Verbrennung 60
Anlagenzulassungsrecht
  für Windenergieanlagen 147
Anreizregulierung 217
Atomausstieg 115
Ausgleichsenergie 30, 218
Ausschließlichkeitsprinzip des EEG 174
  Lockerung 180


## B


bankability 224
Bauleitplanung 108
Bebauungspläne 108
Bioabfälle 291
Biodiesel 13, 240
Bioenergie 27
  Bereitstellung in Deutschland
    und Europa 240
  Potenzial 15
Bioerdgas 96, 174, 263
  Beimischung zu Erdgas 184
  Verwertungsoptionen
    Vergleich hinsichtlich Output,
      $CO_2$-Emission, Einspareffekt und
      Nutzungsgrad 177
Bioerdgas und Erdgas
  gleichzeitiger (paralleler) Einsatz 184
  Kampagnenwechsel 182
Bioethanol 13, 241
  Rohstoffe und deren Ertrag 242
Biogas 96
  Aufbereitung für die Einspeisung
    ins Erdgasnetz 60, 264
  Ausbau der Erzeugungs- und
    Verwertungskapazitäten 175
  Erzeugung 60, 242
  Marktentwicklung 263
  Möglichkeiten der Nutzung 174
  Optimierung des
    Klimaschutzbeitrages 171
  Rohstoffe und deren Biogas- und
    Methanertrag 243
  Wärmenutzungsoptionen 265
Biogasanlagen 240
  im Leistungsbereich
    mehrerer Megawatt 60
  Inputflexibilität 179
  landwirtschaftliche 242
  Markt 263
  Optionen der Wärmenutzung 265
  Repowering 265
  systematische Standortsuche 267
Biogaseinspeisung 62
  Betrieb, Bau und Planung von Anlagen
    in Deutschland 264
  Trend 263
Biokraftstoff 13, 240
BioLiq-Versuchsanlage 27
Biomasse 59, 72, 86, 240
  nachhaltige Nutzungsmöglichkeiten 27
  pflanzliche 239
  -begriff
    weiter 180
  -erzeugung
    Klimarelevanz durch Lachgas-
      freisetzung 192
  -(heiz)kraftwerke 73
    technische Risiken 63
  -nahwärmenetze 12
  -pflanzen
    Düngemanagement
      zur Verbesserung der $CO_2$-Bilanz 192
  -verbrennung
    Auswirkungspotential auf die
      immissionsschutzrechtlichen
        Schutzgüter 193
    Nettoeinsparung an $CO_2$ 192
  -verbrennungsanlagen 187
Brennstoffe
  biogene 243
Bundesnetzagentur 217, 235

## C

Carbon Capture and Storage (CCS) 5, 71, 119
carbon leakage 4
carbon sink energy system 17
cash-flow related lending 223
CCS-Technologie 5, 71, 119
$CO_2$
-Abtrennung 5, 26
-Emissionen
pro Kopf 81
-Entzug aus der Atmosphäre 10
-Speicherung 5, 26
-Vermeidungskostenkurve
für den Energiesektor 172

## D

Desertec Industrial Initiative 38, 202
Desertec-Konzept 26, 33, 35
Dioxine 190
Drosselung
konventioneller Kraftwerke 218
Druckluftspeicher 90
Due Diligence 224

## E

EEG
Abrücken vom
Ausschließlichkeitsprinzip 171
EEWärmeG 62, 116
Effizienzsteigerung 6, 173
Elektro
-fahrzeuge
Nutzung als Energiespeicher 71
-mobilität 9, 13, 71, 90
-smog 36
Emissionshandel 82, 119, 173
Ende der Abfalleigenschaft 274
Endenergieverbrauch
nach Energieträgern
in Deutschland 2007 7
**Energie**
-dichte
verschiedener chemischer und
elektrischer Energieträger 29
-effizienz 71
Steigerung 6, 173
-effizienzpotenziale 59
-infrastruktur 89
-netze
Integration 17
-nutzung 23
bei Abfallverbrennungsanlagen 284
-pflanzen 239
Anbausysteme 245
-politik 30
-rohstoffe
nichtregenerative
Reichweite 5
-speicherung 28
-systemanalyse
ganzheitliche 25
-transport 28
-verbrauch
globaler 25
Senkung 5
-versorgung
der Zukunft 3
kommunale 99
nachhaltige 25
-versorgungsanlagen
keine planungsrechtliche Privilegierung
nach § 38 BauGB 109
rechtliche Instrumente
zur Standortsicherung 107
-versorgungsunternehmen 99, 171
-wende 38
-wirtschaft 67
**Energien**
**erneuerbare** 23, 71, 101, 171
Ausbau 107
Beitrag im zukünftigen Energiemix 77
Entwicklung der installierten
Leistungen in Deutschland 210
Erlössituation nach EEG 2009 61
hundert Prozent bis 2050? 3
Management 29
Markt 93
Marktparität 209
Potenziale und Grenzen 7, 58
Preisrückwirkung 212
Produktionsmengen
in Deutschland 210
Prognose 209
Stand der Nutzung in Deutschland
Ende 2008 199
Technologien zur Wandlung
in elektrische Energie
abgeschätzte weltweit
installierte Leistung 198
Versorgungssicherheit 28
Wärmebereitstellung 12
Wettbewerbsfähigkeit 39
Energy Harvesting 27
Energy Return on Investment (EROI) 4
Entsorgungsautarkie 275

E.ON Climate & Renewables 93
Erdgas
  Beimischung von Biogas 184
  -kraftwerke 26
  -netz 60
    Einspeisung von Biogas 263
    Verlinkung mit dem Stromnetz 15
  -substitut
    emissionsneutrales 16
Erdwärme 27, 59
Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 62, 116
Ersatzbrennstoffe
  Einsatz in der Zementindustrie 292
  Mitverbrennung in
    Kohlekraftwerken 63, 287
Ersatzbrennstoff-Kraftwerke
  in Deutschland 284
Erzeugungsmanagement 217
Evonik New Energies 57

## F

Fachplanungsprivileg 109
Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Verträglichkeits-
  prüfungen 149
Fernwärmeversorgung
  Regelungen des
    Berliner Klimaschutzgesetzes 118
Finanzierung 221
Finanzierungsmethoden 224
Finanz- und Wirtschaftskrise
  Hemmnisse für den Ausbau
    der Offshore-Windenergie 50
Flözgas 61
Forschungszentrum Karlsruhe 27
Fremdfinanzierung 223
Frucht
  -arten
    abtragende 244
    tragende 244
  -folgen 244
Fusionstechnologie 28

## G

Gärsubstrate 242
Gasnetzzugangsverordnung 264
Genehmigungsverfahren
  für die Offshore-Windenergienutzung
    im Küstenmeer 145
Geothermie 12, 87
  oberflächennahe 27
  Risiken 63
  tiefe 27
Geowärme 27, 60
Gesellschafter-Verpflichtungserklärung 226
Gleichspannungsübertragungsnetze 28
Grubengas 61
  Absaugung und Nutzung 61
Grundlast 67
Grundlast-Kraftwerkspark 68
  sinkender Bedarf 11
Grundrechtseingriffe 120
Gülle 242

## H

Hamburg Energie 99
Handel mit Treibhausgasen 82
HEAG Südhessische Energie AG (HSE) 171
Hedging-Verträge 224
Herstellerverantwortung 274
Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-
  leitungen (HGÜ) 35
Hochspannungsnetz
  neue Funktion
    durch vorrangige Abnahme
      von EEG-Strom 216
  zeitweise Überlastung 217
Höchstspannungsnetz 216
  Ausbau 90
Holz
  naturbelassenes
    Verbrennung 187
  -feuerungsanlagen 189
    Emissionskonzentrationen 189
  -gas 191
  -staub
    Brand- und Explosionsschutz-
      maßnahmen 191
    krebserzeugende Wirkung 191
  -vergasung 190
HSN Magdeburg GmbH 215

## I

Infrastruktur
  -planungsbeschleunigungsgesetz 123, 234
Insurance Due Diligence 224
Investitionsbudgets 217

## K

Kälteerzeugung 27
Kampagnenwechsel
  von Bioerdgas- und Erdgaseinsatz 181
    Zulässigkeit nach dem EEG 2009 182
Karlsruhe Institute of Technology KIT 27
Kernenergie 10, 71
Kernfusion 28
Klärschlämme 289
Klimaschutz 69, 99
  Gesetzgebungskompetenz 113
  Maßnahmen 172
    Dimensionen 173
  -gesetz Berlin 116
  -konzept Hamburg 99
  -verpflichtungen
    globale 4
Klimawandel 34
Kohlekraftwerk Datteln 110
Kohlekraftwerke 26
  Mitverbrennung 63
    von Ersatzbrennstoffen 287
  Neubau 68
Kohlendioxid
  *siehe* $CO_2$
Kohlenstoffsenke 17
Kohle
  -vorkommen 70
  -vorräte 4
Kraftwerke
  Bedarf für konventionelle
    Neubaukraftwerke 115
  Neubau 115
  Planung
    Festlegung der besten verfügbaren
      Technik im Bebauungsplan-
      verfahren 112
  solarthermische 26, 35, 95, 205
  Standortplanung 111
  Verfügbarkeit 218
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)
  Finanzierungshilfen 54
Küstenmeer 133, 146

## L

Lachgasfreisetzung
  bei der Erzeugung von Biomasse 192
Lahmeyer International 204
Landschaftsbildanalyse 165
Lastfluss
  zwischen dem Höchst- und dem
    Hochspannungsnetz 216
Laufwasserkraftwerke 85
Leindotter 241
Leitungsprivileg 109
limited-recourse financing 223

## M

Markt
  -parität 209
  -räumungsprinzip 211
Meerwasserentsalzung 37
Methan
  regenerativ erzeugtes 15
Mikro-KWK 184
Mitverbrennung
  in Kohlekraftwerken 63, 287
Mobilität 13
  nachhaltige 14
Monoklärschlammverbrennungsanlagen 290

## N

Nahwärmenetze 12
Nationaler Entwicklungsplan
  Elektromobilität 13
NawaRo-Bonus
  Ausschließlichkeitsprinzip 181
Nebenprodukt 274
Netz
  -anbindung
    von Offshore-Windparks 52, 234
  -anschlusskosten
    Entlastung der Offshore-Windpark-
      Projekte 125
  -ausbau 36, 68, 90, 217
  -betreiber 217
  -entgelte 218
    vermiedene 219
  -integration 90
  -management
    intelligentes 71
  -parität 209
  -stabilität 36, 218
    Einfluss der Windenergie 215
  -überlastung
    Folgen für konventionelle
      Kraftwerke 217
  -umbau 217
non-recourse financing 223

## O

off-balance sheet financing 224

**Offhore-Windenergie** 27, 86, 94
- Ausbau 128
- Ausbauziele 45
- Einfluss der Finanz- und Wirtschaftskrise 51
- Einspeisevergütung in Deutschland im internationalen Vergleich 124
- Entwicklung der installierten Leistung bis 2020 128
- Entwicklung des Marktvolumens bis 2030 54
- Großanlagen (5 MW) 125
- Rahmenbedingungen und Entwicklung 121
- Verbesserungen der Rahmenbedingungen 124
- verzögernde Faktoren 49, 122

**Offshore-Windparks** 141
- Absicherung der Rückbauverpflichtung 237
- Änderung bestehender Genehmigungen 139
- Beeinflussung des Vogelzuggeschehens 162
- Beeinträchtigung der Landschaft 164
- Genehmigung
  - Prioritätsprinzip 135
- Havarie- und Notfallplanung 163
- im Küstenmeer (12-Seemeilenzone) 86
  - Genehmigungsbedürftigkeit 147
  - Genehmigungsverfahren 145
  - Netzinfrastruktur 133
- in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) 134
  - Unterwasserkabel 135
- Konfliktpotenziale 164
- Netzanbindung 52, 123, 142, 234
  - Kostenentlastung der Projekte 125
  - Voraussetzungen seitens der Netzbetreiber 52
- Netzanbindungszusage 127
- Projektfinanzierung 230
- rechtliche Rahmenbedingungen für die Errichtung 131
- steuerrechtliche Situation 137
- Umweltverträglichkeitsprüfung 148, 155
- Verkabelung innerhalb des Parks und Umspannstation 135
- Widerspruch und Klage 140
- Wirkfaktoren
  - bau-, anlage- und betriebs- sowie rückbaubedingte 151

**Onshore-Windenergieanlagen** 86, 94
- in Deutschland 121
  - Altersstruktur 53
  - Anlagenlebensdauer durchschnittliche 52
  - jährliche Zubauleistung seit 1991 44
  - kumulierter Zubau seit 1991 44
  - Repowering 46
    - genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen 48
    - Potenzial 52
    - Schwierigkeiten und Hemmnisse 47
  - Vorranggebiete 47
    - Planungen zur Neuausweisung 48

Ownership Unbundling 68

## P

Parabolrinnenkraftwerke
- solarthermische 197

Pflanzen
- zur Erzeugung von Biogas 242
- zur Erzeugung von Festbrennstoffen 243
- zur Ethanolgewinnung 241
- zur Ölgewinnung 240

Photovoltaik 26, 59, 87, 95, 204, 209
- mögliches Marktvolumen 206
- Wirtschaftlichkeit 206, 466
- zukünftige Kostenänderungen 205

Post-Consumer-Abfälle 294

Post-Industrial-Abfälle 294

Post-Production-Abfälle 293

Primärenergieverbrauch
- globaler
  - Entwicklung bis 2030 79

Projektfinanzierung
- Ablauf 227
- Auswirkungen der Finanzkrise 231
- für erneuerbare Energien 221
- für Offshore Windparks 230
- Markt 2009 231
- rückgriffsbeschränkte 223
- rückgriffsfreie 223
- typische Merkmale 222

Projektgesellschaft 223, 226

Pumpspeicherkraftwerke 85, 90

## R

Raps 241
- -anbau 241
- -ölmethylester (RME) 240

Raumordnung 108

Raumordnungverordnung für die
Ausschließliche Wirtschaftszone 127
Raumwärme 11
Recycling 276
Recyclingquoten 274
Regelenergie 218
Renewable Power Methane-Konzept 15
Repowering von Windenergieanlagen
in Deutschland 46
Potentiale 52
Schwierigkeiten und Hemmnisse 47
Rohölpreis
Entwicklung 80
Rohstoffe
Knappheiten bei Erdöl, Erdgas und Uran 4
nachwachsende 27, 176
Anbau in Deutschland und Europa 239
Reserven 4
Ressourcen 4
RPM-Konzept 15

## S

Sachverständigenrat für Umweltfragen 10
Side-Scan-Sonar-Untersuchungen 159
Silomais 243
single purpose vehicle 223
Solar-Dünnschichttechnologie 95
Solarkraftwerke
Perspektiven der Wirtschaftlichkeit 197
Solarstrom 87
aus den Wüsten 37
Marktpotentiale bis 2015 und 2020 200
Solarthermie 26, 35, 95, 204
Entwicklung des Marktes 202
mögliches Marktvolumen
und Wirtschaftlichkeit 206
Wettbewerbsfähigkeit 39
zukünftige Kostenänderungen 205
Solarzellen 87
Sonnenkollektoren 12
Speicherung von Strom 15
aus Wind- und Sonnenenergie
Konzept Renewable Power Methane 17
Sponsoren 226
Städtische Werke Magdeburg GmbH 215
Stauwasserkraftwerke 85
Stickstoffdüngung
Emissionen an $CO_2$-Äquivalenten
durch Düngereinsatz und
Düngemittelherstellung 192
Strom
Angebot und Nachfrage
Markträumungsprinzip 212
aus Abfall 296
-bedarf
globaler 35
-binnenmarkt 129
-einsparpotenzial 59
-einspeisung
dezentrale 218
-erzeugung
aus erneuerbaren Energien 84
-erzeugungssystem
flexibles 11
-importe
zum Leistungsausgleich 115
-lücke 68, 115
-markt
und erneuerbare Energien 211
-netze
Stabilität 36, 215
Verlinkung mit dem Erdgasnetz 15
-speicher 15, 17
stationäre 28
-verbrauch
Prognosen 8
-verbund
europäischer 11, 18
-versorgung
nachhaltige 9

## T

transpower Stromübertragungs GmbH
127, 132
Treibhausgas
-Emissionshandel 82
-reduktion
Ziele 3
trend:research 266

## U

Übertragungsnetzbetreiber 234
Netzanbindung für
Offshore-Anlagen 52, 142
Sicherstellung der Netzstabilität 36, 218
UCTE 218
Umweltverträglichkeitsstudie
für Offshore-Wind-
energieanlagen 148, 155
Union for the Co-ordination of Transmission
of Electricity (UCTE) 218
Union für das Mittelmeer 39
Unternehmensfinanzierung 224

## V

Vattenfall 67, 125
  Kraftwerksplanungen in Berlin 74
Vattenfall Europe Transmission
  GmbH 125, 132
Verbrennungs
  -prozesse
    unvollständige 190
  -prozessführung 190
Verfügbarkeit
  von konventionellen Kraftwerken 218
Vergärungsanlagen 180
Vergasungstechnologie
  zur Energiegewinnung
    aus trockener Biomasse 60
Verhältnismäßigkeitsprüfung 120
Versorgungsinfrastruktur 88
Versorgungssicherheit 23, 37, 67, 78, 115
  mit erneuerbaren Energien 28
Verwertung 276
  energetische 271, 274, 282
  stoffliche 271, 279
Vogelzug 165
    Beeinflussung durch Offshore-
      Windparks 162
Vorranggebiete zur Windenergienutzung
  Planungen zur Neuausweisung 48

## W

Wärme
  -bereitstellung
    Einsatz erneuerbarer Energien 11
  -markt 11
  -pumpen 104
    elektrische 9
  -versorgung
    nachhaltige 12
Wasserkraft 58, 85, 199
Wasserstoff
  als Energieträger 15
Wellenkraftwerke 73
Welteinkommensprinzip 137
Wiederverwendung 274, 275
**Windenergie**
  58, 72, 85, 101, 133, 146, 209, 296
  *siehe auch*
    *Offshore-Windenergie*
    *Offshore-Windparks*
    *Onshore-Windenergieanlagen*
  Anlagenzulassungsrecht 147
  Ausbau 26
    Hemmnisse und Risiken 46
    Potenziale und Chancen 46, 52
    Prognosen der vergangenen Jahre 45
  Einfluss auf die Netzstabilität 215
  Einfluss auf die Strom-Spotpreise 213
  Finanzierung 50
  Marktpotentiale bis 2015 und 2020 200
  Marktvolumen 206
  Projektfinanzierung 230
  Repowering 46, 52, 62
  spezifische Stromerzeugungskosten 204
  Status quo in Deutschland 43
  Wirtschaftlichkeit 206
    Perspektiven 197
    zukünftige Kostenänderungen 205
**Windanlagen und -parks**
  Alpha Ventus (D) 44, 94, 126, 230
  Baltic 1 (D) 126, 147
  BARD 1 (D) 126, 222, 232
  Dradenau (D) 102
  Kriegers Flak (D) 126
  Q7/Princess Amalia (NL) 231, 233
  Robin Rigg (GB) 94
  Rödsand (DK) 94
  Roscoe (USA) 94
Wüstengürtel der Erde 35

## Z

Zementwerke
  Einsatz von Ersatzbrennstoffen 291
  Einsatz von sekundären Rohstoffen 291
Zuckerrübe 241
Zwölf-Seemeilenzone 86, 133