K. J. Thomé-Kozmiensky
Michael Beckmann

ERNEUERBARE ENERGIEN

Band 4

Biomasse und Biogas
Ersatzbrennstoffe
Solar- und Windenergie

TK

Karl J. Thomé-Kozmiensky
Michael Beckmann

Erneuerbare Energien

Band 4

Biomasse und Biogas

Ersatzbrennstoffe

Solar- und Windenergie

TK

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Erneuerbare Energien, Band 4
– Biomasse und Biogas, Ersatzbrennstoffe,
Solar- und Windenergie –
Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
ISBN 978-3-935317-55-9

ISBN 978-3-935317-55-9 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 2010
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky und Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Erfassung und Layout: Nicole Bäker, Petra Dittmann, Martina Ringgenberg, Andreas Schulz, 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.

In diesem Buch werden verschiedene – hauptsächlich technische – Aspekte der Realisierung der Energieversorgung mit erneuerbaren Energien behandelt. Es werden Forschungsergebnisse, Verfahrenstechniken und Berichte aus der Praxis zur Diskussion gestellt und – soweit besonders aktuell – durch Übersichtsbeiträge und rechtliche Aspekte ergänzt. Dieses Buch ist nach den Themen Bioenergie, Ersatzbrennstoffe sowie Solar- und Windenergie gegliedert.

Im Themenblock *Biomasse* wird zunächst ein fundierter Überblick über die Biomasse-Versorgungskette – von der Brennstoffversorgung über die Aufbereitung bis hin zur Verbrennungstechnik, insbesondere für holzgefeuerte Kraftwerke großer Leistung – gegeben. Als Beispiel eines solchen großen Biomasse-Heizkraftwerks wird die Anlage in Markinch/Schottland vorgestellt. Aufgrund der hohen Alkalimetall-Gehalte des Brennstoffs stellt Korrosion in Biomasse-Kraftwerken ein mindestens ebenso großes Problem dar wie in Abfallverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken. Als Maßnahmen zur Korrosionsvorbeugung werden die Durchführung und Auswertung von Wärmestrommessungen sowie der Einsatz von Schutzschichten vorgestellt. Neben der Verbrennung werden auch die Vergasung von Biomassen sowie die Heißgasreinigung der erzeugten Synthesegase behandelt. Am Beispiel von Holz wird aufgezeigt, wie die Verwendungspotentiale durch Kaskadennutzung erhöht werden können.

Bei der *Vergärung* von Abfällen werden zunächst die vorgeschaltete Aufbereitung des Abfallinputs und verschiedene Konzepte der Bioabfallvergärung dargestellt. Weitere Beiträge sind der Effizienzsteigerung von Vergärungsanlagen, den Emissionen aus Biogasanlagen einschließlich Maßnahmen zu deren Vermeidung und Verminderung sowie den Gärresten aus der Bioabfallbehandlung gewidmet.

Einen Schwerpunkt im Kapitel *Aufbereitung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen* bildet in diesem Band der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie. Neben Verfahren zur spezifikationsgerechten Aufbereitung und Aufgabesystemen werden die Anlagen zur Vergasung und Verbrennung im Zementwerk Rüdersdorf vorgestellt. Im Hinblick auf die Ersatzbrennstoff-Kraftwerke werden die Aspekte Feuerfestauskleidung sowie Qualität und Alterungsverhalten der Rostaschen beleuchtet. Die Mitverbrennung von alternativen Brennstoffen in Kohlekraftwerken wird hinsichtlich der Ascheablagerungsprobleme im Dampferzeuger thematisiert.

Das Kapitel *Solarenergie* bietet zunächst einen Überblick über die technischen Varianten der Stromerzeugung mit Solarthermie sowie deren Optimierungspotentiale und Wirtschaftlichkeit. Als Innovation auf diesem Gebiet wird die Parabolrinnen-Technologie mit direkter Dampfproduktion vorgestellt. Ein gesonderter Beitrag ist den Dampfturbinen für solarthermische Kraftwerke gewidmet.

Das Thema *Windenergie* wird unter deutschem, europäischem und internationalem Fokus beleuchtet, wobei auch besonders auf die Netzintegration von erneuerbaren Energien eingegangen wird. Von aktuellem Interesse ist der Bericht über die Forschungsinitiative *Research at alpha ventus* – RAVE – im ersten Offshore-Windpark Deutschlands. Abschließend wird der notwendige Ausbau der Kapazitäten bei Transport, Logistik und Häfen für die Offshore-Windergie aufgezeigt und eine Prognose der Marktentwicklung in diesem Bereich erstellt.

September 2010

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

Professor
Dr.-Ing. Michael Beckmann

Inhaltsverzeichnis

Biomasse

Die Biomasse-Versorgungskette – integrative Lösungen der Brennstoffversorgung, -aufbereitung und angepasste Verbrennungstechnik für holzgefeuerte Kraftwerke großer Leistung –
Matthias Bette und Werner Schumacher 3

Verwendungspotentiale heben durch Kaskadennutzung am Beispiel Holz
Arno Frühwald, Stefan Diederichs und Ruth M. Morgan 37

Heizkraftwerk Markinch – RWE Innogy errichtet größte Biomasseanlage Schottlands –
Martin Lenkens, Jan Köster und Philip Kloibhofer 53

Korrosionsproblematik und Wärmestrommessungen in Biomassekraftwerken – Korrosionsvorbeugung und Schutzschichten –
Wolfgang Spiegel, Thomas Herzog, Marie Kaiser, Gabi Magel, Wolfgang Müller und Werner Schmidl 65

Biomasse-Vergasung – Problemkomponenten und Analytik
Frank Behrendt, York Neubauer und Nico Zobel 85

Energetische Aspekte bei der Heißgasreinigung von biomassebasierten Synthesegasen
Hans Leibold und Helmut Seifert 95

Biogas

Aufbereitung von Abfällen vor der Vergärung
Arno Möller und Stefan Stehle 109

Anlagenkonzepte für die Vergärung von Bioabfällen aus Sicht eines kommunalen Auftraggebers
Thomas Rücker 119

Effizienzsteigerung von Biogasanlagen
Michael Sievers, Hinnerk Bormann, Ottmar Schläfer und Otto Carlowitz 139

**Emissionen aus Biogasanlagen
und technische Maßnahmen zu ihrer Minderung**
Carsten Cuhls, Birte Mähl und Joachim Clemens 147

**Gärreste aus der Bioabfallbehandlung –
Mengen, Qualitäten, Behandlung und Verbleib**
Thomas Raussen und Michael Kern 161

Aufbereitung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen

Ersatzbrennstoffe für den Einsatz in der Zementindustrie
Hubert Baier und Karl Menzel 179

**Aufbereitung von Ersatzbrennstoffen und Aufgabesysteme
für Zementanlagen**
Wolfram Zschiesche 191

**Einsatz von Ersatzbrennstoffen im Zementwerk Rüdersdorf
– Vergasung und Verbrennung –**
Sigmar Drebelhoff und Uta Tietze 205

Anlagen zur umweltfreundlichen Energieerzeugung bei Infraserv Höchst
Dirk Lorbach 217

**Feuerfeste Spezialmassen für Ersatzbrennstoff- und
Biomasse-Verbrennungsanlagen – das Dünnschicht SiSiC-Plattensystem –**
Uwe Morgenstern 227

**Ascheablagerungsprobleme bei der Mitverbrennung
von alternativen Brennstoffen in Kohlekraftwerken**
Tomasz Kupka und Roman Weber 245

**Rostaschen aus Ersatzbrennstoff-Kraftwerken
– Untersuchungen zur Qualität und zum Alterungsverhalten –**
Thomas Marzi, Ralf Bertling, Werner Auel und Manfred Kühl 263

Solarenergie

Electricity Generation with Solar Thermal Power Plants – Technology Overview, Optimization Potential and Economic Situation –
Gabriel Morin 283

Parabolic Trough Power Plants based on Direct Steam Generation – New opportunities for solar thermal energy production –
Moritz von Plate 303

Dampfturbinen für solarthermische Kraftwerke
Jari Nyqvist und Detlef Haje 313

Windenergie

Windenergie und die Netzintegration von Erneuerbaren Energien in Deutschland und international
Kai Schlegelmilch 327

RAVE – Die Forschungsinitiative im ersten deutschen Offshore-Windpark alpha ventus
Michael Durstewitz und Bernhard Lange 333

Transport, Logistik und Häfen für die Offshore-Windenergie
Dirk Briese und Christian Meyer 353

Dank 365

Autorenverzeichnis 369

Inserentenverzeichnis 383

Schlagwortverzeichnis 389

Biomasse

Die Biomasse-Versorgungskette

– integrative Lösungen der Brennstoffversorgung, -aufbereitung und angepasste Verbrennungstechnik für holzgefeuerte Kraftwerke großer Leistung –

Matthias Bette und Werner Schumacher

1. Holz als Brennstoff für Leistungsfeuerungen 8

2. Nationale und internationale Förderprogramme 14

3. Die globale Biomasse-Verfügbarkeit 19

4. Brennstoffbedarf eines Biomasse-Heizkraftwerks großer Leistung 21

5. Technologische Aspekte der Brennstofflogistik 23

5.1. Brennstofflogistik 23

5.2. Holzumschlag und Lagerung am Kraftwerksstandort 26

6. Energetische Nutzung 27

6.1. Feuerung und Dampferzeuger 27

6.2. Abgasreinigung 33

7. Einheiten, Umrechnungstabellen und Abkürzungen 35

8. Quellen 35

Der Brennstoff Holz ist wegen seiner Regenerierbarkeit umweltpolitisch akzeptiert, aber lokal nur bedingt verfügbar, und es bedarf langfristiger Umsetzungsprogramme, um die notwendigen Voraussetzungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung sicherzustellen. Der Bund und die EU haben zwar rechtzeitig Förderprogramme aufgelegt, um die technische Entwicklung insbesondere in der energetischen Nutzung und die Verbreitung neuer Technologien voranzutreiben, doch scheitern hierzulande gerade viele Großprojekte der Strom- und Wärmeerzeugung bereits in der Vorstufe der Realisierung, da offensichtlich die Beschaffungsproblematik der Holzbrennstoffe für entsprechende Anlagengrößen erheblich unterschätzt wurde.

In der Konkurrenz zu etablierten Energieträgern ist ein wichtiger Vorteil von Holz seine Grundlasttauglichkeit: Während bei anderen erneuerbaren Energien mit starken Schwankungen in der Erzeugung zu rechnen ist, beispielsweise bei Wind- und Sonnenenergie, kann Holz ein Mindestmaß an verfügbarer Energie

zu jedem Zeitpunkt gewährleisten. Es ist daher ein wichtiger Bestandteil zur Ergänzung des Energiemix, jedoch sind durch die Knappheit der lokalen Ressource Holz dem Wachstum dieses Sektors natürliche Grenzen gesetzt.

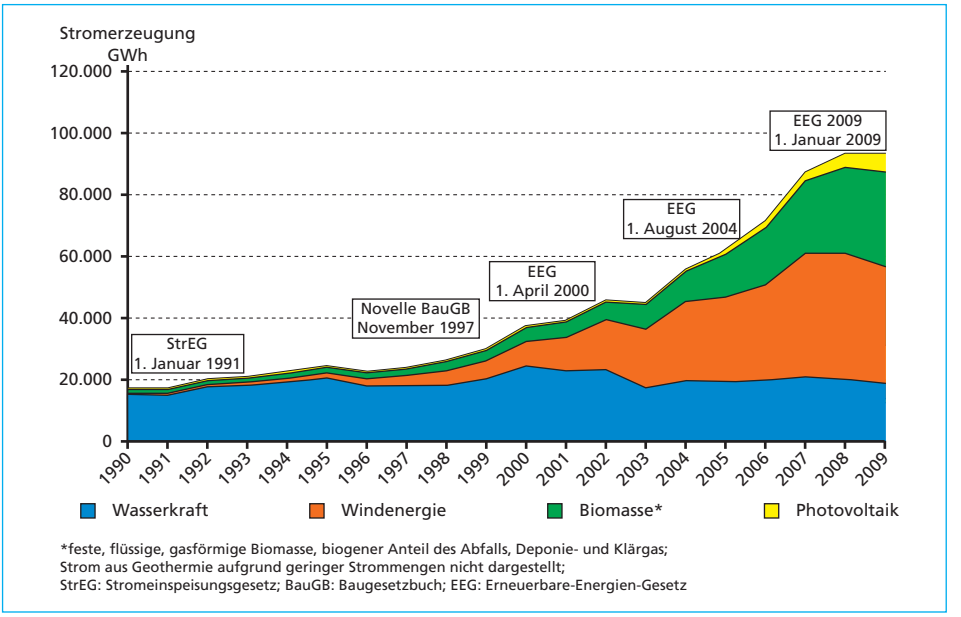


Bild 1: Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung in Deutschland 1990 bis 2009

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Referat KI III 1 – Allgemeine und grundsätzliche Angelegenheiten der Erneuerbaren Energien (Hrsg.): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2009. Stand: 18. März 2010

Trotz laufend steigender Waldfläche von derzeit mehr als dreißig Prozent der Staatsfläche [2] und europaweit vergleichsweise großem absoluten Holzvorrat, beträgt der Anteil von Holz am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland nur etwa 4,3 Prozent. Andererseits gibt es in Europa auch traditionell waldreiche Länder wie Schweden oder Finnland, für die die Entwicklung des internationalen Holzenergiesektors auch national eine große wirtschaftliche Bedeutung hat, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die industrieholz- und papierverarbeitende Industrie derzeit konjunkturbedingt einen erheblichen Absatzeinbruch erleidet. Für den energetischen Einsatz spielt allerdings auch die Verfügbarkeit und die Preisrelation der Stromerzeugungskosten gegenüber anderen Primärenergieträgern (Wasserkraft, Kernenergie) eine wesentliche Rolle. In Westeuropa sind die für die Erzielung eines hohen Anteils der Biomasse an der Energiebereitstellung notwendigen Holzmengen kurz- und mittelfristig nicht vorhanden und in Osteuropa sind die entsprechenden Versorgungsstrukturen weithin noch nicht aufgebaut. Der Beitrag der festen Biomasse von etwa 65 Prozent an der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Ungarn sowie 42 Prozent in Polen ist ressourcen- und strukturbedingt und eher untypisch für die derzeitige Situation in der EU [3].

Die Klimaschutzziele der EU

Im Rahmen der Europäischen Klimaschutzvereinbarung will die EU gemäß einem 10-Punkte-Plan [4] die Treibhausgas-Emissionen bis 2020 um zwanzig Prozent (Vergleichsjahr ist 1990) senken. Sollten sich andere Staaten zu vergleichbaren Reduktionszielen verpflichten, will die EU ihre Emissionen sogar um dreißig Prozent (Deutschland in diesem Falle um vierzig Prozent) reduzieren. Das Europaparlament betont allerdings auch, dass nach neueren Erkenntnissen wohl eine Reduktion zwischen 25 und 40 Prozent notwendig ist, um die Klimaveränderung im erträglichen Maß zu halten. Im Jahr 2050 müssten die EU-Länder sogar achtzig Prozent unter den Emissionswerten von 1990 liegen, um das angestrebte Zwei-Grad-Celsius-Niveau zu halten. Die erneuerbaren Energien aus Biomasse, Wind, Sonne und Wasser, Erdwärme und andere erneuerbare Quellen sollen im Jahr 2020 mindestens zwanzig Prozent des Energieverbrauchs der Europäer decken. Zum Vergleich: 2005 waren es nur sieben Prozent. Die im April 2009 verabschiedete Richtlinie zur *Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen* [5] legt fest, wie viel jeder EU-Staat zum Gesamtziel beitragen muss und wie die erneuerbaren Energiequellen gefördert werden sollten.

Bild 2 zeigt die länderspezifischen Reduktionsziele. Die ehrgeizigen 20/20-Ziele der EU lassen sich in Bezug auf die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern jedoch nur über entsprechende Anlagengrößen oder eine Vielzahl von kleineren Anlagen erfüllen. Bei den Windkraftanlagen und solarthermischen Kraftwerken sind die Trends zu größeren Einheiten bereits offensichtlich – wenn auch, aufgrund technischer Umsetzungsprobleme, mit erheblicher Zeitverzögerung (Beispiel: Offshore-Windkraftanlagen oder Großprojekte der konzentrierenden Solarenergie). Für die Energiegewinnung aus Biomasse befinden sich bislang nur aufgrund nationaler Marktanreizsysteme (z.B. durch Steuervergünstigungen und Quotenregelung) größere Leistungseinheiten in der Planung bzw. schon in Betrieb. In Deutschland ist ein genereller Trend zu großen Leistungseinheiten noch nicht eindeutig erkennbar, lediglich in Berlin sind aufgrund einer freiwilligen Selbstverpflichtung im Rahmen eines gesonderten *Berliner Energiekonzeptes* zur Substitution von Kohle größere Einheiten in der Planung.

Neben den bereits skizzierten Gründen spielen auch fehlende langfristige Marktanreize für Großprojekte (z.B. Entfall der Einspeisevergütung für den Leistungsanteil > 20 MW_e) und die unter dem Eindruck der Wirtschaftskrise korrigierte Entwicklungserwartung der Primärenergiepreise, insbesondere für Kohle und Gas, aber auch der Handelspreis für CO_2-Zertifikate, eine große Rolle.

Andererseits fehlt in Ländern mit Quotenregelung oft ein staatliches Korrektiv, um eine Übersteigerung hinsichtlich der projektierten Anlagengrößen zu verhindern und neue, energieeffizientere Technologien zu fördern. In Großbritannien wurden in der jüngeren Vergangenheit zahlreiche Großprojekte (Bild 3) aufgelegt, deren Realisierungschancen allerdings wegen der vielen ungeklärten Fragen der Brennstoffbeschaffung als gering angesehen werden.

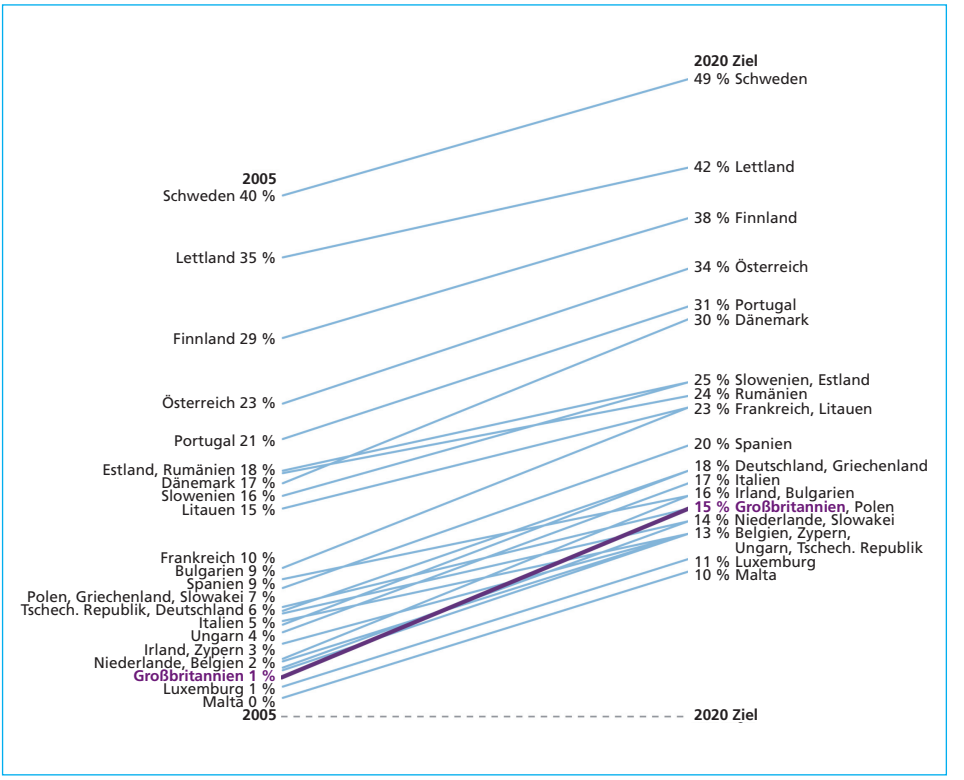


Bild 2: Nationale Gesamtziele für den Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch

Quelle: Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG; veröffentlicht im Amtsblatt der EU am 5.6.2009

Energetische Bedeutung der Biomasse in Deutschland

Bild 4 zeigt den Biomasse-Anteil von sieben Prozent am Endenergieverbrauch (Strom, Wärme, Kraftstoffe) in Deutschland in 2009.

Reduziert man die Betrachtung nur auf die Stromproduktion, so ist die Biomasse noch mit 33 Prozent an den erneuerbaren Energien vertreten, neben Windenergie mit vierzig Prozent, Wasserkraft mit zwanzig Prozent und anderen (Solar, Geothermie). Da unter dem Oberbegriff Biomasse sowohl feste, als auch flüssige, gasförmige Biomasse, biogener Anteil des Abfalls, Deponie- und Klärgas verstanden wird, verbleibt bei alleinigem Bezug auf den biogenen Festbrennstoff nur noch ein rund dreizehnprozentiger Anteil am gesamten Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien, bzw. nur rund zwei Prozent des gesamten Stromverbrauches der Bundesrepublik Deutschland. Zum Vergleich: Ziel der Bundesregierung ist, bis 2020 den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Stromverbrauch auf mindestens dreißig Prozent anzuheben ([6], § 1 Absatz 2).

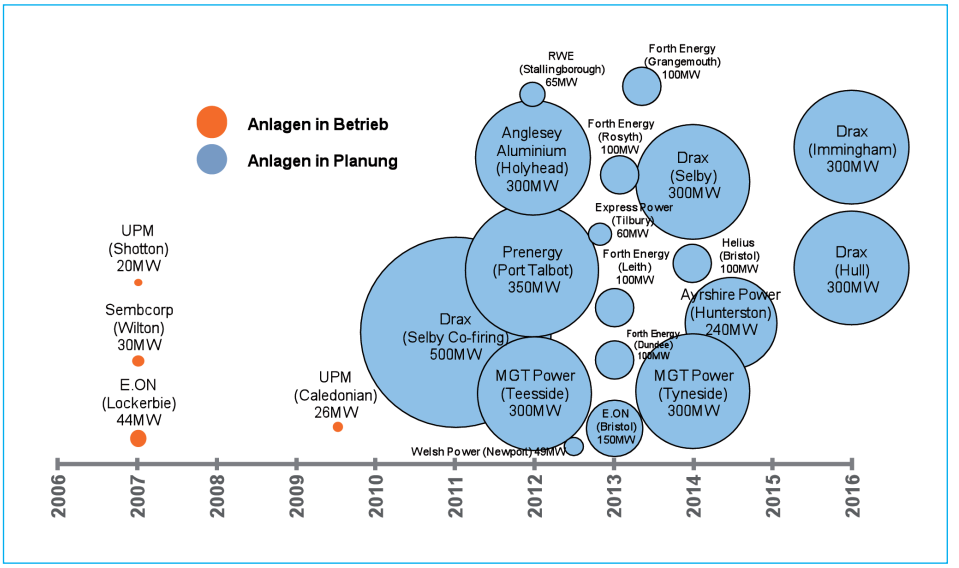


Bild 3: Biomasse-Kraftwerke in der Planung für Großbritannien

Quelle: Pöyry MC, 2009

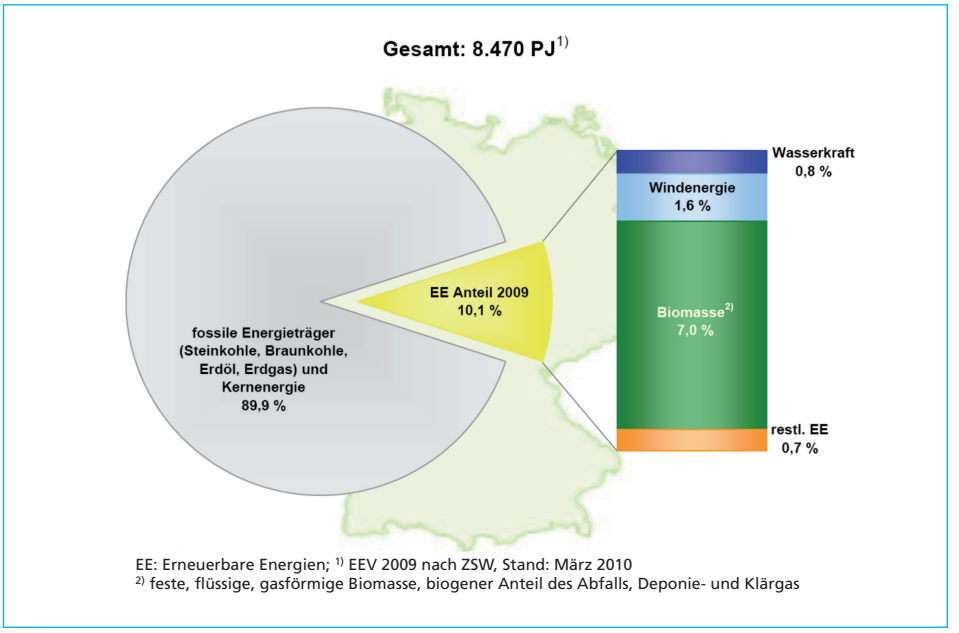


Bild 4: Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2009

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Referat KI III 1 – Allgemeine und grundsätzliche Angelegenheiten der Erneuerbaren Energien (Hrsg.): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2009, Stand: 18. März 2010

Bei der Betrachtung der Wärmebereitstellung aus Biomasse zeigen die Werte von 2009, dass der Anteil der Wärme aus Heizwerken und Heizkraftwerken mit 5,3 Prozent an der gesamten Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien gegenüber dem Anteil der Wärmeerzeugung in Haushaltungen (52,5 Prozent) ebenfalls noch vergleichsweise klein ist.

Somit wird deutlich, dass zu einer weiteren Stärkung des energetischen Beitrages durch Biomasse, insbesondere durch die Ressource Holz, noch erhebliche Anstrengungen notwendig sind, die sich jetzt zunehmend auf die Veränderung der Rahmenbedingungen sowie eine Änderung der Beschaffungssituation konzentrieren müssen.

Die nachfolgenden Ausführungen geben einen Überblick über die Problematiken bei der logistischen Umsetzung von Großprojekten der Holzverbrennung und zeigen auf, welche wirtschaftlichen und technischen Erfolgsfaktoren bei der Planung zu berücksichtigen sind.

1. Holz als Brennstoff für Leistungsfeuerungen

Holz ist entgegen landläufiger Meinung ein vielgestaltiger Brennstoff. Über die richtige Wahl einer Feuerungsanlage entscheiden nicht nur die Herkunft, also die Inhaltsstoffe des Holzes und der Holzabfälle, sondern auch seine physikalischen Eigenschaften, wie Heizwert (Brenneigenschaften), Stückigkeit und Feuchtegehalt. Neben den Naturhölzern, die sozusagen waldfrisch angeliefert werden, gibt es viele technische Varianten einer Vorbehandlung, von der Trocknung bis zur Pelletierung, so dass für jede Feuerungsart eine speziell aufbereitete Handelsform verfügbar ist. Bereits in der Projektierungsphase sollten die Brennstoffmengen und die Bandbreite der Qualitäten möglichst genau bekannt sein, um auf dieser Grundlage die richtige Entscheidung bei der Auswahl und Dimensionierung der Fördereinrichtungen, der Vorbehandlung und der Feuerungsart zu treffen. Aufgrund der projektentscheidenden Bedeutung des Brennstoffpreises ist frühzeitig auch die Möglichkeit bzw. die Auswirkung eines Wechsels der eingesetzten Holzsortimente in Betracht zu ziehen.

Abfallfraktionen aus der Industrieholzproduktion sind für eine langfristige Einsatzplanung nicht geeignet, da für Feuerungsanlagen dieser Größenordnung ($> 50\ MW_{th}$) diese Resthölzer praktisch nicht mehr wirtschaftlich verfügbar sind, insbesondere wenn sie noch der Einstufung *naturbelassen* entsprechen sollen. Für schadstoffbelastete Abfallhölzer ist für die notwendigen Mengen eine ausreichend langfristige Marktverfügbarkeit sowieso nicht darstellbar. Ohnehin fallen derartige Qualitäten in Deutschland nicht (mehr) unter das EEG-Gesetz und bedingen zudem eine aufwendigere Abgasreinigungstechnik, gleichsam wie für Abfallverbrennungsanlagen nach den Anforderungen der 17. BImSchV. Selbst bei Einsatz von naturbelassenen Brennstoffen, wie Landschaftspflegegut, Stroh oder Heu kann auf eine weitergehende Abgasreinigung zur Abscheidung von Halogenen nicht verzichtet werden, wenn die für diese Anlagengröße maßgeblichen Grenzwerte der 13. BImSchV (siehe Kapitel 6.2.) eingehalten werden sollen.

Elementarzusammensetzung und Heizwert von Energiehölzern

Cellulose ist mit rund fünfzig Prozent der wichtigste Holzbestandteil, weitere zwanzig bis fünfundzwanzig Prozent der Holzmasse bestehen aus Hemicellulose. Die dritte Hauptkomponente von pflanzlichen Biomassen ist das Lignin, es kennzeichnet die Verholzung der Biomasse (Holzstoff). Lignin umhüllt zusammen mit den Polyosen (Hemicellulose) die Cellulosefaser und füllt die Zwischenräume der Holzzellen. Der obere Heizwert von Lignin ist mit 30 MJ/kg beinahe doppelt so hoch wie der Heizwert von Cellulose und Hemicellulose. Laubhölzer enthalten etwa 25 Prozent Lignin, Nadelhölzer bis etwa dreißig Prozent. Die drei Hauptbestandteile des Holzes – Cellulose, Hemicellulose und Lignin – machen in der Regel mehr als 95 Prozent der Holzmasse aus, sie bestehen nur aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Bei vollständiger Verbrennung der Hauptbestandteile bleiben idealerweise nur Kohlendioxid und Wasser als Endprodukte übrig.

Als Nebenbestandteile mit einem Anteil von rund fünf Prozent der Trockenmasse sind in Holz weiterhin Harze, Wachse, Fette, Proteine, Aminosäuren, Stärken, mineralische Stoffe u.a.m. enthalten. Der Heizwert der Harze, Wachse und Fette beträgt 38 MJ/kg, ihnen kommt daher im Bezug auf den Heizwert des Holzes ebenfalls Bedeutung zu. Wegen ihres höheren Gehaltes an Lignin und Harzbestandteilen haben Nadelhölzer gewichtsbezogen im Mittel einen etwa fünf Prozent höheren oberen Heizwert als die Laubhölzer. Die Laubhölzer haben dagegen volumenbezogen einen deutlichen Vorteil, da lufttrockene Harthölzer, wie Buche und Eiche, eine um fünfzig Prozent höhere Rohdichte gegenüber Nadelhölzern aufweisen. Die Grenze zwischen Hart- und Weichholz ist bei einer Darrdichte – Rohdichte der Trockenmasse – von etwa 550 kg/m³ gesetzt. Die meisten Nadelbaumarten fallen in die Kategorie der Weichhölzer, Pappeln als Vertreter der Weidengewächse gehören mit einer Darrdichte von 410 kg/m³ somit noch zu den Weichhölzern.

Der Gehalt des Holzes an Stickstoff (0,2 bis 0,5 Prozent) und Schwefel (0,01 bis 0,04 Prozent) ist gering. Bis ein Prozent der Holzmasse sind mineralische Bestandteile, die nach der Verbrennung als Asche zurückbleiben. Fünf bis zehn Prozent der Baummasse besteht aus Rinde, die in der Regel reicher an Kohlenstoff ist, aber auch einen höheren Anteil an aschebildenden Mineralstoffen enthält, ggf. auch mineralische Verschmutzungen (Aschegehalt zwei bis sechs Prozent). Für die Eignung als Brennstoff in Leistungsfeuerungen dürfte aber der Chlorgehalt ein limitierender Faktor sein. Chlor bildet auf den Heizflächen in Verbindung mit den Alkali- und Erdalkalimetallen des Holzes in den wandnahen Rohrbelägen des Überhitzers Salzschmelzen mit niedrigem Schmelzpunkt, deren Wirkung schon in früheren Untersuchungen [7] der Holzmitverbrennung in Großkesseln als ursächlich für die erhöhte Korrosionsanfälligkeit erkannt wurde.

Die Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der Elementarzusammensetzung (bezogen auf TS) und gemessene bzw. über eine Näherungsformel (Dulong) ermittelte Heizwerte der verschiedensten Energiehölzer und -pflanzen und deren Produkte. Als Mittelwert für den unteren Heizwert der Trockensubstanz (Hu_{TS}

bzw. Hu_{wf}) wird laut ÖNORM M 7132 für Nadelhölzer 19 MJ/kg und für Laubhölzer 18 MJ/kg angenommen. In der aktuellen DIN EN 14961-1 (s. u.) [8] sind ebenfalls für zahlreiche Brennstoffe die Heizwerte und Zusammensetzungen, einschließlich der für die Verbrennung maßgeblichen Schadstoffstoffgehalte, definiert.

Tabelle 1: Elementarzusammensetzung verschiedener biogener Brennstoffe

	[%] C	[%] H	[%] O	[%] N	[%] S	[%] Cl	[%] Asche	[MJ/kg] gem. HuTS	[MJ/kg] Ho	[MJ/kg] Dulong HuTS
HOLZ										
Nadelholz	50,0	6,3	42,8	0,1	0,023	0,009	0,8	18,8	20,2	18,1
Fichtenholz	50,3	6,2	43,1	0,2	0,005	0,003	0,4			18,0
Fichtenholz mit Rinde	49,7	6,3	43,2	0,1	0,019	0,010	0,6	18,8	20,2	17,9
Fichtenrinde	52,6	6,0	39,0	0,6	0,063	0,009	1,8			19,2
Kiefernholz mit Rinde	53,2	5,9	40,4	0,1	0,060	0,005	0,4	19,2	20,5	19,0
Rinde von Nadelholz	51,4	5,7	38,7	0,5	0,085	0,019	3,8	19,2	20,5	18,5
Laubholz	47,8	6,2	45,0	0,5	0,040	0,016	0,6	18,4	19,8	16,9
Buchenholz	49,0	6,1	44,3	0,3	0,007	0,005	0,5			17,3
Buchenholz mit Rinde	47,9	6,2	45,2	0,2	0,020	0,007	0,5	18,4	19,8	16,9
Buchenrinde	50,1	5,8	40,9	0,5	0,079	0,016	2,6			17,8
Eichenholz mit Rinde	56,5	5,1	37,8	0,2	0,090	0,005	0,4	18,2	19,3	19,6
Pappelholz (Kurzumtrieb)	47,5	6,2	44,1	0,4	0,033	0,004	1,9	18,5	19,9	16,9
Weidenholz (Kurzumtrieb)	47,1	6,1	44,3	0,5	0,049	0,006	2,0	18,4	19,7	16,6
Altholz	47,8	6,5	44,3	0,5	0,052	0,017	0,8	18,3	19,7	17,4
STROH										
Getreidestroh	45,1	5,9	42,9	0,5	0,074	0,250	5,7	17,2	18,5	15,9
Weizenstroh	46,8	6,3	40,0	0,4	0,080	0,400	5,1			17,5
Weizenstroh	45,6	5,8	42,4	0,5	0,082	0,192	5,7	17,2	18,5	16,1
Roggenstroh	46,6	6,0	42,1	0,6	0,085	0,396	4,8	17,5	18,8	16,7
Triticalestroh	43,9	5,9	43,8	0,4	0,056	0,265	6,0	17,1	18,4	15,4
Gerstenstroh	47,5	5,9	41,1	0,5	0,089	0,405	4,8	17,5	18,8	17,0
Maisstroh	45,7	5,3	41,7	0,7	0,117	0,353	6,7	17,7	18,9	15,6
Rapsstroh	47,1	5,9	40,0	0,8	0,270	0,467	6,2	17,1	18,4	17,1
Sonnenblumenstroh	42,5	5,1	39,1	1,1	0,146	0,813	12,2	15,8	16,9	14,7
Leinstroh	47,0	5,9	41,9	0,7	0,124	0,369	4,4	17,8	19,1	16,8
KÖRNER / GANZPFLANZEN										
Getreidekörner	44,3	6,4	45,2	1,9	0,106	0,086	2,3	17,0	18,4	15,9
Roggenkörner	45,7	6,4	44,0	1,9	0,108	0,161	2,0	17,1	18,5	16,6
Weizenkörner	43,6	6,5	44,9	2,3	0,121	0,043	2,7	17,0	18,4	15,9
Triticalekörner	43,5	6,4	46,4	1,7	0,107	0,069	2,1	16,9	18,3	15,5
Rapskörner	60,5	7,2	23,8	3,9	0,100	-	4,6	26,5	28,1	25,6
Getreide-Ganzpflanzen	45,3	6,1	43,2	1,2	0,137	0,181	4,2	17,1	18,4	16,2
Roggen-Ganzpflanzen	48,0	5,8	40,9	1,1	0,112	0,342	4,2	17,7	19,0	17,2
Weizen-Ganzpflanzen	45,2	6,4	42,9	1,4	0,120	0,086	4,1	17,1	18,5	16,6
Triticale-Ganzpflanzen	44,0	6,0	44,6	1,1	0,180	0,140	4,4	17,0	18,3	15,4
GRAS / SCHILF / SONSTIG										
Chinaschilf	47,5	6,2	41,7	0,7	0,151	0,224	3,9	17,7	19,1	17,3
konvent. Wiesenheu	45,1	5,9	40,7	1,3	0,165	0,759	7,1	17,1	18,4	16,2
Rohrschwingel	41,4	6,3	43,0	0,9	0,142	0,498	8,5	16,4	17,8	15,1
Weidelgras	46,1	5,6	38,1	1,3	0,135	1,390	8,8	16,5	17,7	16,7
Hanf (Faserh. u. Hanfstroh)	46,1	5,9	42,5	0,7	0,104	0,198	4,8	17,0	18,3	16,4
Miscanthus	48,6	5,5	41,1	0,5	0,040	0,230	3,6			16,9
Landschaftspflegeheu	45,5	6,1	41,5	1,1	0,158	0,311	5,7	17,4	18,7	16,6
Straßengrasschnitt	37,1	5,1	33,2	1,5	0,192	0,877	23,1	14,1	15,2	13,8

Quelle: Holzforschung Austria (Hrsg.): Methoden zur Übernahme von Energieholz. Wien, Juni 2004

In Industriefeuerungen sind aus Verfügbarkeitsgründen bevorzugt Hackschnitzel aus Waldholz und zunehmend auch aus Plantagenholz einzusetzen. Je nach regionaler Herkunft, Aufbereitungsgrad (ggf. Entrinden, Vortrocknen) und Verwertungsgrad (Vollbäume, Stammholz, Waldrestholz, Wurzelstock) weisen diese jedoch erhebliche Qualitätsunterschiede auf. Die Qualität hängt neben dem Wassergehalt und der Holzart auch von den mechanischen Eigenschaften und dem Anteil an Fremdstoffen ab. Bei der Planung einer Feuerungsanlage sollten der Wassergehalt, ggf. der Aschegehalt und insbesondere die Größe der Hackschnitzel möglichst früh definiert sein, um die Fördertechnik und die Feuerung dem jeweiligen Brennstoff optimal anzupassen.

Starke Schwankungen in der Brennstoffqualität wirken sich immer negativ auf die Lagerfähigkeit (diese ist eingeschränkt, wenn der Wasseranteil > 30 Prozent beträgt), das Förderverhalten und die Feuerungseigenschaften aus. Hier ist vor allem eine kontinuierliche Belieferung mit Brennstoffen von gleichbleibender und auch bekannter Qualität notwendig. Auch für die Preisfindung und Preisgestaltung für den Brennstoff sind einheitliche Standards wichtig.

Bisher wurde in Deutschland meist auf die österreichische ÖNORM M 7132 und 7133 zurückgegriffen, da keine entsprechenden Normen vorhanden waren. Im Jahr 2005 wurde die europäische Vornorm CEN/TS 14961 veröffentlicht, die im April 2010 von der EN 14961-1 abgelöst wurde. Auf Grundlage dieser Norm können die Eigenschaften für alle regenerativen festen Brennstoffe klassifiziert werden.

Energetisch und wegen seines Einflusses auf das feuerungstechnische Abbrandverhalten ist der Wasseranteil des Holzes von wesentlicher Bedeutung. Für die Kennzeichnung dieser Feuchte sind jedoch in der Holzwirtschaft zwei unterschiedliche Definitionen gebräuchlich, *Holzfeuchte* und *Wassergehalt*, wobei für den feuerungstechnischen Einsatz nur der Wassergehalt entscheidend ist. Beide Begriffe wurden bislang parallel verwendet, der Unterschied liegt aber in der Bezugsgröße: Während die Feuchte auf die trockene (wf) Substanz bezogen ist, wird der Wassergehalt auf die Gesamtmasse (roh) bezogen. Lufttrockenes Holz hat seinen Gleichgewichtswasseranteil in Anhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit des Lagerortes. Holz gilt in der Holzwirtschaft noch als *trocken*, wenn seine Holzfeuchtigkeit unter zwanzig Prozent liegt, d.h. Wassergehalt < 17 Prozent. Waldfrisches Holz hat, abhängig von der Holzsorte, einen Wassergehalt von vierzig bis fünfundfünfzig Prozent, nach sechs Monaten Lagerzeit beträgt der Wassergehalt bereits weniger als dreißig Prozent. In der Verrechnung als Energieholz ist ein Bezug auf das wasserfreie Holzgewicht somit sinnvoller, d.h. Bezug auf die Trockenmasse (*atro* = absolut trocken).

Wassergehalt (*w*) und Feuchtigkeit (*u*) können über folgende Formeln ineinander umgerechnet werden:

$$\text{Wassergehalt: } w\,[\%] = \frac{u \bullet 100\,[\%]}{u + 100\,[\%]}$$

$$\text{Holzfeuchte:} \quad u\,[\%] = \frac{w \bullet 100\,[\%]}{100 - w\,[\%]}$$

Qualitätsbewertung nach DIN EN 14961-1

Die Qualitätskriterien der festen Biobrennstoffe sind durch eine europäische Arbeitsgruppe im April 2010 normativ festgeschrieben worden. Ein wesentliches Ziel der DIN EN 14961-1 ist, europaweit eindeutige und klare Klassifizierungsregeln für feste Biobrennstoffe aufzustellen. Sie soll damit den reibungslosen Handel zwischen Kunden und Herstellern ermöglichen und die Kommunikation mit den Anlagenherstellern erleichtern. Der Tabellenteil enthält die Spezifikation von qualitätsbestimmenden Parametern verschiedener Handelsformen, wobei unterschieden wird in Pflichtangaben und freiwillige Angaben (normative und informative Parameter). Für die industrielle Verwendung sind insbesondere bei Hackschnitzeln die Größenklassen P 63 und P 100, sowie *Industriepellets* mit Durchmesser D 10 bis D 12 maßgeblich, die sich von den handelsüblichen Pellets im höheren Rindenanteil und einer geringeren Härte der Presslinge unterscheiden.

Im Anhang B der EN-Norm sind typische Werte von Biomasse-Brennstoffen (Nadelholz, Laubholz, Rinde, Waldrestholz, Kurzumtriebsplantage, Strohsorten) hinsichtlich ihrer Elementarzusammensetzung und auch Schadstoffbelastung durch Schwermetalle gelistet.

Holzsortimente und die Holzlieferkette

Die bevorzugten Sortimente für die energetische Nutzung fester Biomasse sind aufbereitetes Schwachholz (Durchmesser bis zwanzig Zentimeter) und Hackschnitzel aus Industrieholz. Weitere Sortimente aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) müssen allerdings das Angebot zukünftig ergänzen, um den wachsenden Holzbedarf zu decken.



Schwachholz – Traditionelle Nutzer sind Zellstoff-/Papierwerke und die Holzwerkstoffindustrie. Zunehmende Nutzungskonkurrenz zum Energieholz.



Hackschnitzel/Sägemehl – Ein wichtiges Nebenprodukt der Sägeindustrie und wichtiger Rohstoff der Zellstoff-/Papier- und Holzwerkstoffindustrie. Stark steigende Nachfrage für Holzpellets (*White Pellets*).



Holzpellets – Bisher aus gepresstem Sägemehl und Hobelspänen hergestellt, inzwischen auch entrindetes Schwachholz als Rohmaterial. *Brown Pellets* werden als Industriepellets mit Rinde verarbeitet.



Rinde – Überwiegend energetische Nutzung als Brennmaterial für Trockenkammern (Sägewerk) und für Industriepellets.



Waldhackgut – Gipfel, Äste auch Wurzeln von Bäumen als Reste der Holzernte verbleiben vorwiegend ungenutzt im Wald. Zusätzlich nutzbare Potenziale und geringer Wettbewerb zur Holzindustrie.



Kurzumtriebsplantagen – KUP – Hohe Zuwachsleistung und geringer Wettbewerb zur Holzindustrie. Kurzumtriebsplantagen können als wichtigste zukünftige Ressource angesehen werden.

Die Holzlieferkette (auch als *Supply Chain* bezeichnet) ist grundsätzlich komplex und es gibt verschiedene Zugänge zur energetischen Nutzung (z.B. Waldbesitzer oder Sägewerke). Die Wahl der richtigen Handelspartner ist zunehmend ein kritischer Erfolgsfaktor. Die bisherigen Lieferanten für das Energieholz waren eng an die nationale holzverarbeitende Industrie (Sägewerke, Holzwerkstoffhersteller und die Papierindustrie) gekoppelt (siehe Nutzungspfade in Bild 5), mit lokal entsprechend volatilen Mengen von Abfall- bzw. Restholzmengen; die gesicherte Versorgung von zukünftigen Großkraftwerken muss dagegen direkt an die Holzquelle (Wald/Plantagen) angebunden sein. In diesem Zusammenhang sind neue strategische Allianzen mit Handelspartnern in fernen Lieferländern aufzubauen, aus denen langfristige Lieferabkommen unter Einhaltung der Regeln einer umweltfreundlichen Erschließung für Energieholz erwachsen, d.h. Verzicht auf zusätzliche Entwaldung und Sicherstellung einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Anbauflächen.

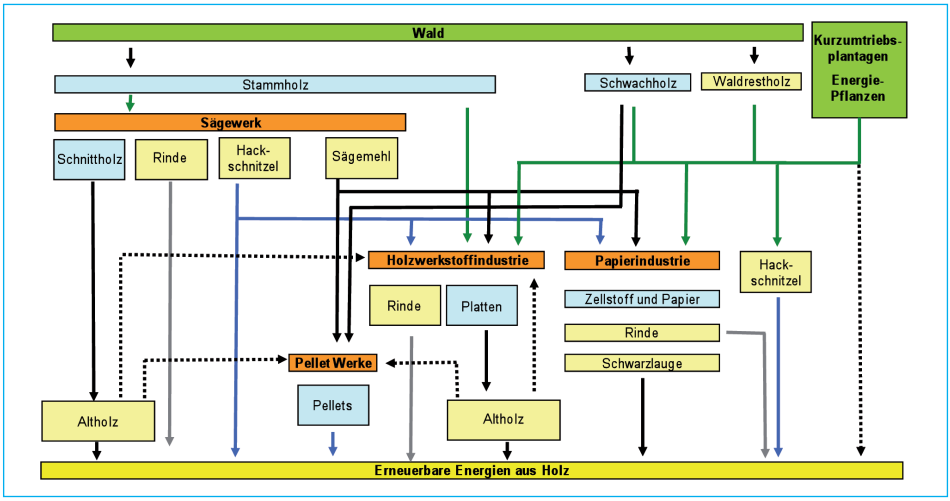


Bild 5: Nutzungspfade der stofflichen und energetischen Holzverwertung

Schlagwortverzeichnis

A

Absorber 304
ADCP 347
Aerodynamik 342
Air-Knife 115
Akzeptanz 345
Alkalien
  Kondensation 228
Alkalikorrosion 229
Alpha Ventus 329, 335
Alterung
  von Rostaschen 264
Altholz 41
Ammoniak 155
Ascheablagerungs
  -probleme 245
  -verhalten 250
    während der Mitverbrennung 246
Ascheschmelzverhalten 248
Aufbereitung
  mechanische 109
  nassmechanische 116
auftragsgeschweißte Nickelbasis-
  legierungen 77
Ausgleichsenergie 351

B

Baufeldvorbereitung 61
Belgien 356
Betriebsführung 350
Bioabfall 157
  -behandlung 147
  -vergärung 119
  -verwertung 147
Biobrennstoffe 10
  Qualitätsbewertung 12
Bioerdgas 219
Biofilter 154
Biogas
  Einspeisung in das Gasnetz 125
  Reinigungsschritte 220
  -anlagen 123, 147
    Effizienzsteigerung 139
    Reaktortechniken 144
    Stand der Technik 139
    Techniken zur Rohstoff-
      aufbereitung 142
  -aufbereitung 125, 220
  -erzeugung 219
  -standort
    Nutzung der anfallenden Wärme 124
bioliq-Prozess 96
Biomasse 54
  globale Verfügbarkeit 19
  -Heizkraftwerk 21
  -Vergärung 119, 162, 166
  -Vergasung 85
  -Versorgungskette 3
Biomethan-Produktion 125
Blasenschleier 348
Brennstoffe
  biogene 10
Brennstofflogistik 23

C

Calcinator 206
  Ersatzbrennstoffeinsatz 185
  -feuerung 202
Calciniersysteme 186
Chlor 195
Clean Development Mechanism 17
Co-Fermentation 219
  von Speiseresten 133
Co-Fermentationsanlagen 162
Concentrating Solar Power (CSP) 303

D

Dampf
  -lieferung 60
  -turbine 322
Dänemark 357
desalination 303
Deutschland 356
direct solar radiation 304
Direct Steam Generation (DSG) 306
Drehofen
  optimierte Sinterzonenfeuerung 183
Drehofenbrenner 206
drying 303
Dünnschicht SiSiC-Plattensystem 227

E

Echolot 347
Effizienzsteigerung 67
Einspeisefluktuation 351
Emission 147
Emissionshandel 16

Energie
-effizienz 97
von Biogasanlagen 141
-hölzer
Elementarzusammensetzung und Heizwert 9
-leitungsausbaugesetz 329
environmental friendliness concept 307
Erdverkabelung 329
erneuerbare Energien 53, 322
nationale Modelle zur Förderung 15
Ersatzbrennstoff 205
Aufbereitung 191
Einsatz in der Zementindustrie 179, 192
Ersatzbrennstoffkraftwerk
im Industriepark Höchst 221
Europa 353

F

Festbettvergaser 86
Feuerfest-Systeme
Eigenschaftsvergleich 235
Finnland 357
Flugstromsorption 101
Frankreich 357
Feuerfest-Auskleidung 227

G

Gärprodukte
relevante Rechtsbereiche 165
Gärrest
aus der Bioabfallbehandlung 161
fester 123
flüssiger 123
Hygienisierung 123, 167
Verfahren zur Aufbereitung 168
Gasmotor 145
Grenzschicht 342
Grit 117
Großbritannien 356
Grünabfall 147
Gründungsarten von
Offshore-Windenergieanlagen 339

H

Habitatverlust 349
Häfen 353
Hafen
-infrastruktur 331
-logistik 353
Hartsubstrat 349
heating/cooling 303
heat transfer fluid (HTF) 303
Heißgasreinigung 95
Heizkraftwerk 54
Heizkraftwerk Markinch
größte Biomasseanlage Schottlands 53
HiTorc 113, 114
Hochdrehmoment-Synchronmotor 113
Höchstspannungs-Übertragungsnetz 329
Hochtemperatur
-filtration 100
-Hochdruck-(HTHP)-Gasreinigungs-verfahren 100
Holz 3, 14, 37
Kaskadennutzung 37
-beschaffungssituation
globale 21
-produkte 46
-verwertung
stoffliche und energetische 13
Hydrolyse
thermische 143
Hydrophon 349
Hydroschall-
-immission 348
-pegel 348
Hygienisierung 123, 167

I

Infraserv Höchst 217
injection-mode collector loop 308
Instandhaltung
vorausschauende 73
Interferenzeffekte 350
Irland 356
Italien 357

J

Jacket 339
Joint Implementation 16

K

Kalzinator
siehe Calcinator
Kaskadennutzung von Holz 37
keramische Schichten 80
Klimaschutzziele 37
der EU 5
Kohlendioxidäquivalent 157
Kohlenstoffspeicher 37
Kolk 347
-monitoring 340
-schutzsysteme 340
-tiefen 347
Kompostierung 147
Stoff- und Energiebilanz 163
Kompostwerke
Nachrüstung einer Fermentationsstufe 124
Korrosions
-früherkennung 66
-minderung 66
-prozesse 65
-rate 228
-schäden 65
-schutzmaßnahmen 65
Kraft-Wärme-Kopplung 53
Kreisschwingsieb 114
Kurzumtriebsplantagen 13
Kyoto-Protokoll 16

L

Lachgas 154
-emissionen 156
Landschaftsbild 346
Lastmodell 340
Leistungs
-abgabe 351
-kurve 342, 344
Lidar
-Technologie 342, 344
-Windmessungen 344
Logistikkonzepte 355

M

marine Säugetiere 349
MBA 109
Meeresoberflächendynamik 346
Membranverfahren 173
zur Gasaufbereitung 145
metallische Schutzschichten 66
Metallseparierung 114
Methan 154
-emissionen 156
-schlupf 145
aus Vergärungsanlagen 137
Mitverbrennung in Kohlekraftwerken
Ascheablagerungsprobleme 245
Monopile 339
Müllsieb 114

N

Nassvergärung 109
Nassvergärungsverfahren 134
Netz
-anbindung 346
-ausbau 329
-innovationen 329
-integration 350
von erneuerbaren Energien 327
von Offshore-Windparks 350
Nickelbasislegierungen
auftragsgeschweißte 77
Niederlande 356
Norwegen 357
Nutzung
energetische 37
stoffliche 37

O

Offshore
-Häfen
notwendiger Ausbau 358
-Windenergie 329, 335, 353
Akzeptanz 345
-Windenergieanlagen
Errichtung 353
Gründungskonstruktionen 339
Unterwasserbetriebsschalleintrag 349
-Windpark alpha ventus 333
-Windparks
Netzintegration 350
Planungen in Europa 354
Once through concept 308
Onshore-Windenergie 327

P

parabolic mirrors 304
Parabolic trough collectors (PTC) 304
Portugal 357
Pulper 116
PVC-Abtrennung 195

R

Rammarbeit 348
Rastvögel 349
RAVE 333
receiver 305
Recirculation concept 308
Reduced LCOE 307
Regelleistung 350
  konventionelle 351
Repowering 327
Ressourcen 38
Restabfallbehandlung
  mechanisch-biologische 109
Rohbiogasaufbereitung 125, 220
Rostaschen
  aus Ersatzbrennstoff-Kraftwerken
    Qualität und Alterungsverhalten 263
  künstliche Alterung 265
Rostfeuerung
  für Holzbrennstoffe 28
Rotorblatt 341
RWE Innogy Cogen 53

S

Salzschmelzenkorrosion 76
Säugetiere
  marine 349
Schall
  -ausbreitung 349
  -eintrag 349
  -minderung 348
Schiffbau 353
Schlacken
  aus EBS-Kraftwerken 263
Schutzschichten
  metallische 66
Schweden 357
Schweißplattieren 74
Sedimentdynamik 346, 347
Seegang 346
Shredder 112
SiC-Stampfmasse 230
Siebklassierung 114
Silicium infiltriertes Siliciumcarbid (SiSiC) 232
Sinterzonenbrenner 182
SiSiC-Platten 231
SNG 85
Solarlite 307
solar thermal conversion technologies 303
solarthermische Energie 322
Sonar 347
  -signal 350
  -transponder 349
Spanien 357
Speisereste
  Co-Vergärung 133
Spritzschicht
  thermische 77
Strömungsmesser 347
Substitution 47
support structure 304
Synthesegase
  biomassebasierte 95
  Gasreinigung 85, 97

T

Teeranalyse 88
Temperaturwechselbeständigkeit 228
Thermal Oil 306
thermisches Spritzen 74, 77
Tragstrukturen
  von Offshore-Windenergieanlagen 340
Transportkonzepte für Offshore-
    Windenergieanlagen 353
Tripod 339
Trockensorption 103
Trockenvergärungsverfahren 134
Trocknung 171, 197

U

Unterkorrosion 76
Unterwasserbetriebsschalleintrag 349

V

vacuum receiver 307
Vakuumhochtemperaturofen 235
Vereinigtes Königreich 356
Vergärung 109
Vergärungsanlagen für Bioabfall 119
  in Deutschland 162
  Methanschlupf 137
  Stoff- und Energiebilanz 163
Vergärungsverfahren 134, 166
  vergleichende Betrachtung 135
Vergärung und Kompostierung
  vergleichende Klimagas-Bilanz 136
Vergasung
  in der Wirbelschicht 87
  von Biomasse 85
Vergasungs
  -anlage 205
    Problemfelder 86
  -technologie 96
Verschlackung 245
Verschleißschutz 228
Verschmutzungsminderung 67
vorausschauende Instandhaltung 73
Vorzerkleinerung 111

W

Waldrestholz 14
Walzenschneidwerk 112
Wärmeauskopplung 105
Wärmestrom
  -dichte 67
  -sensorik 67
Water Injection concept 308
water to steam conversion 310
Wellenparameter 347
Wertschöpfungskette
  bei der Nutzung von Holz 39
  in der Offshore-Windenergie 355
Wind Cluster 351
Windenergie 327, 334
  Offshore 329, 335, 353
  Onshore 327
  -anlagen 327, 334
  -nutzung
    EU- und internationale Aktivitäten 327
Wind Farm Cluster 350
Windfeldmessungen 344
Windleistungsvorhersagesystem 351
Windsichtung 115, 194
Wirbelschicht
  -feuerung
    für Holzbrennstoffe 31
    zirkulierende 59, 205
  -technik 222
  -vergaser 87

Z

Zement
  -anlagen
    EBS-Aufgabesysteme 191
  -industrie
    eingesetzte Ersatzbrennstoffe 179, 192
  -werke 205
Zerkleinerung 111
  selektive 112
Zerkleinerungswirkung
  reißend-scherende 112
  brechend-schneidende 112
zirkulierende Wirbelschicht-
    feuerung 59, 205
Zugvögel 349
Zündverzögerung 183