K. J. Thomé-Kozmiensky
Michael Beckmann

ERNEUERBARE ENERGIEN

Band 2

Ersatzbrennstoffe
Biomasse und Biogas
Solar- und Windenergie

TK

Karl J. Thomé-Kozmiensky
Michael Beckmann

Erneuerbare Energien

Band 2

Ersatzbrennstoffe

Biomasse und Biogas

Solar- und Windenergie



Während im ersten Band dieser Buchreihe die Perspektiven für die erneuerbaren Energien, die Strategien von Energieversorgungsunternehmen und kommunalen Betrieben sowie rechtliche und wirtschaftliche Aspekte angesprochen werden, widmet sich dieser Band vornehmlich den technischen Aspekten der Anwendung.

Insbesondere für Ersatzbrennstoffe, aber auch für Biomassen ist die Frage der Probenahme und Analytik von erheblicher Bedeutung. Seit vielen Jahren beschäftigen sich Forschungsinstitute mit der fast unlösbaren Aufgabe, Ersatzbrennstoffe zu analysieren. Die Schwierigkeiten liegen hier insbesondere in der Heterogenität des Ausgangsmaterials für die Herstellung von Ersatzbrennstoffen. In Anbetracht der Sensibilität der energetischen Verwertungsanlagen sowohl in Hinblick auf die Anlagenverfügbarkeit als auch auf die Emissionen kommt jedoch der Analytik große Bedeutung zu. Auf den ersten Blick erscheint die Analyse von Biomassen unproblematisch. Doch spielt ihre Zusammensetzung insbesondere für die Vermeidung von Korrosionen eine bedeutende Rolle. Das Problem verschärft sich bei der Verwendung von Biomassen, die vor ihrer energetischen schon eine stoffliche Verwertung erfahren haben. Hier können die mit der Aufbereitung und energetischen Verwertung von Biomassen befassten Fachleute von der Erfahrung der Ersatzbrennstoff-Analytiker profitieren.

Zu Beginn der Entwicklung wurden für die Aufbereitung von Ersatzbrennstoffen Maschinen und Verfahren aus der Grundstoffindustrie eingesetzt. Das ging in der Regel nicht gut. Der Maschinenbau hat in den beiden letzten Jahrzehnten viel gelernt und seine Apparate und Verfahren für die Abfallaufbereitungsproblematik modifiziert. Dafür haben auch die Betreiber von Anlagen zur Herstellung und Verwertung der Ersatzbrennstoffe ihre Erfahrungen und Erkenntnisse eingebracht. Die Aufbereitungsverfahren werden heute auf das Ziel der Verwertung ausgerichtet, z.B. für die Vergasung und Verbrennung in eigens dafür errichteten Anlagen, aber auch für die Verbrennung in Zement- und Kohlekraftwerken. Für die Verwertung in empfindlichen Anlagen wurde das umfangreiche Instrumentarium der Sensortechnik entwickelt.

Auch für neue Aufgaben, z.B. für die Gewinnung von Ersatzbrennstoffen aus überwiegend mineralischen Abfällen, gibt es heute interessante Angebote, wie dies in diesem Buch beispielhaft beschrieben wird.

Ersatzbrennstoff- und Biomassekraftwerke werden häufig im Zusammenhang mit Produktionsstätten der Industrie mit hohem Energiebedarf errichtet. Dafür werden sowohl Öfen mit Rosten als auch mit Wirbelschichttechnik gebaut. Hier wird ein ausführlicher Überblick über Wirbelschichtverfahren für die energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen und Biomassen gegeben. Ergänzt wird dieser Beitrag durch Berichte über eine der größten Anlagen dieser Art, die kurz vor der Inbetriebnahme steht, und über zwei kürzlich in Betrieb genommene Anlagen.

Mit der Verwertung von Biomassen und Ersatzbrennstoffen gehen erhebliche Korrosionsprobleme, insbesondere an den Dampferzeugern, einher. In einem ausführlichen Beitrag wird gezeigt, wie dieses Problem zwar nicht verhindert, doch deutlich entschärft werden kann.

Mehrere Beiträge setzen sich grundsätzlich mit der Energieeffizienz bei der energetischen Verwertung von Biomassen auseinander.

Angesprochen wird auch das immer weiter in den Vordergrund rückende Verfahren der Biomassevergasung. Erfahrungen mit dem Umbau eines ehemaligen kohlebefeuerten Wirbelschichtofens für die Altholzverwertung werden vorgestellt.

Neben der Vergasung und Verbrennung hat sich in den letzten Jahrzehnten die Vergärung von Biomassen – ausgehend von der Anwendung in der Landwirtschaft – durchgesetzt. Bei der Vergärung bleibt der größte Teil der eingebrachten Stoffe als Gärrest zurück, dessen stoffliche Verwertung schon aus rechtlichen Gründen sichergestellt werden muss. Dies wird ebenso wie die Frage der Sicherheitstechnik abgehandelt.

Zur Solartechnik wird sowohl ein Überblick über die Varianten und die Betriebsweisen gegeben, als auch ein Bericht über die Entwicklung und die Finanzierung. Angesprochen werden auch neue Konzepte sowie die Anwendung und die Perspektiven der Photovoltaik.

Ergänzt werden die strategischen und rechtlichen Ausführungen zur Windenergie im Band 1 mit einer technischen Betrachtung über die Zuverlässigkeit dieser Anlagen an Binnenstandorten und unter Offshore-Bedingungen.

November 2009

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

Professor
Dr.-Ing. Michael Beckmann

Inhaltsverzeichnis

Analytik und Probenahme

Bestimmung des biogenen Kohlenstoffgehaltes von Ersatzbrennstoffen mittels eines CHNSO-Elementaranalysators
Philipp Aschenbrenner, Johann Fellner und Helmut Rechberger 3

Pressbohrmethode – ein neues Verfahren zur Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen
Sebastian Döring, Sylvia Schade-Dannewitz und Jürgen Poerschke 15

Aufbereitung von Ersatzbrennstoffen

NIR-Positivgewinnung von Sekundärbrennstoffen aus gemischten Siedlungsabfällen am Beispiel der Anlage R.A.B.E. Meschede
Georg Timmel 39

Vertikalsetzmaschine zur Aufbereitung von Stoffgemischen zu Ersatzbrennstoffen – Einsparungspotential durch Aufbereitung für die energetische Verwertung –
Michael Bräumer 51

Konsequenzen der weitgehenden Aufbereitung zu hochwertigen Ersatzbrennstoffen – Die Ersatzbrennstoff-Anlage Ennigerloh –
Thomas Grundmann 59

Erkenntnisse aus Herstellung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen geringerer Aufbereitungstiefe in einem Mittelkalorik-Kraftwerk
Andreas Nieweler 67

Erzeugung von Ersatzbrennstoffen für die deutsche Zementindustrie – Rahmenbedingungen, Herkunft, Aufwand und Realisierung –
Hubert Baier 75

Energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen

Anwendung von Energiekennzahlen und CO_2-Bilanzen auf Verfahren zur energetischen Nutzung von Abfällen
Oliver Gohlke 91

Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland
Stephanie Thiel 115

Wirbelschichtverfahren für die energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen und Biomassen
Karl J. Thomé-Kozmiensky 145

Energetische Verwertung in der Wirbelschicht für kommunale und industrielle Abfälle – Ersatzbrennstoff-Anlage im Industriepark Höchst –
Dirk Lorbach 215

Mittelkalorik-Kraftwerk zur Energieversorgung von Bremen
Frank Schumacher 225

Industrieheizkraftwerk IHKW Andernach – Innovative und hocheffiziente Versorgungslösung für einen wärmeintensiven Industriestandort –
Horst Laß 231

Cladding für Ersatzbrennstoff- und Biomassekessel
Wolfgang Hoffmeister, Arne Manzke und Michael Bartels 239

Energetische Verwertung von Biomasse

Energieeffizienz der energetischen Biomassenutzung
Michael Beckmann, Slawomir Rostkowski und Reinhard Scholz 265

Energieeffizienz bei der energetischen Nutzung von Biomasse
Otto Carlowitz, Stefan Vodegel und Annett Wollmann 283

Dezentrale Biomassevergasung
– Teerabbau durch primäre und sekundäre Maßnahmen –
Dorith Böhning und Michael Beckmann 299

Umbau eines kohlebefeuerten Wirbelschichtofens für die Altholzverwertung
– Biomassekraftwerk in Hameln –
Frank Ehlers 323

Rückstände aus der Palmöl-Produktion
– Aufkommen, Verwertungsmöglichkeiten als Biomasse und Kosten –
Florian Groß und Vera Susanne Rotter 337

Vergärung und Biogas

Abfallvergärung und Biogasnutzung für den BSR-Fuhrpark
Alexander Gosten und Thomas Rücker 357

Aufbereitung von Gärresten und deren Verwertung
Ulrich Brüß 375

Sicherheitstechnische Konzepte für Biogasanlagen
Gerhard Rettenberger 385

Solarenergie

Entwicklung und Anwendungsgebiete solarthermischer Kraftwerke
– Betriebsweise und Systemvarianten –
Werner Schumacher, Klemens Schwarzer,
Philipp Stukenbrock und Nadia Rodriguez 401

Solarthermische Kraftwerke
– Von der Entwicklung über die Finanzierung bis zur Umsetzung –
Lars Schnatbaum-Laumann, Stefan Eckhoff und Sven Moormann 437

Solarthermisches Turmkraftwerk in Jülich
Gerrit Koll, Peter Schwarzbözl, Klaus Hennecke, Bernhard Hoffschmidt und Thomas Hartz 455

Photovoltaik – technische Entwicklungen und Perspektiven –
Barbara Hudec, Ulla Hoppe und Claudia Riedel 461

Windenergie

Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen an Binnenstandorten und unter Offshore-Bedingungen
Holger Huhn, Stefan Faulstich, Isabel Hüßler, Jens-Uwe Jakomeit und Berthold Hahn 471

Dank 485

Autorenverzeichnis 489

Inserentenverzeichnis 503

Schlagwortverzeichnis 509

Analytik und Probenahme

Bestimmung des biogenen Kohlenstoffgehaltes von Ersatzbrennstoffen mittels eines CHNSO-Elementaranalysators

Philipp Aschenbrenner, Johann Fellner und Helmut Rechberger

1. Einleitung 4

2. Beschreibung der Methode 5

3. Darstellung der durchgeführten Versuche 7

4. Darstellung der Messergebnisse 9

5. Auswertung der Analyseergebnisse 10

6. Diskussion und Ausblick 13

7. Literaturverzeichnis 13

Ersatzbrennstoffe werden aus brennbaren Abfällen durch mechanische Verfahrensschritte gewonnen. Die in den Ersatzbrennstoffen enthaltenen Energieträger können dabei fossilen oder biogenen Ursprungs sein, wobei der jeweilige fossile und biogene Anteil am Heizwert in der Regel unbekannt ist. Für die Industrie sind Ersatzbrennstoffe aus verschiedenen Gründen eine begehrte Substitution für Regelbrennstoffe. Einer davon ist, dass die CO_2-Emissionen biogenen Ursprungs dem Unternehmen nicht als Beitrag zur Emission von Treibhausgasen angerechnet werden. Ein möglicher anderer Grund ist, dass die aus biogenen Materialien gewonnene elektrische Energie und Prozesswärme durch höhere Einspeisetarife eine Subvention erfahren. Es ist daher für Ersatzbrennstoffproduzenten und -nutzer, aber ebenso für Behörden notwendig, über verlässliche und kostengünstige Methoden zur Bestimmung der biogenen und fossilen Anteile in Ersatzbrennstoffen zu verfügen. An der Technischen Universität Wien wurde eine Methode entwickelt, die gesuchten Anteile mittels eines CHNSO-Elementaranalysators zu bestimmen. Dazu müssen repräsentative Brennstoffproben von etwa 50 mg erzeugt werden. Anschließend werden der Aschgehalt, sowie die Elementargehalte von Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Sauerstoff bestimmt. Aus den Messergebnissen werden mittels ausgewählter Stoffbilanzen, die ein überbestimmtes nichtlineares Gleichungssystem ergeben, die gesuchten Größen ermittelt. Die Methode wurde vorerst an definierten Gemischen aus Papier und Kunststoffen validiert. Die Ergebnisse zeigen, dass beliebige Mischungsverhältnisse durch die Methode exakt wiedergegeben werden.

1. Einleitung

Abfälle und daraus produzierte Brennstoffe – Ersatzbrennstoffe – bestehen aus einer in der Regel unbekannten Mischung biogener und fossiler Materialien. Auf Grund gesetzlicher Vorgaben, insbesondere der Emissionshandelsrichtlinie 2003/87/EG [3], sind Betreiber von Industrieanlagen, in denen Abfälle als Brennstoffe oder im Fall der Stahlindustrie auch als Reduktionsmittel eingesetzt werden, am Gehalt an biogenem und fossilem Kohlenstoff des eingesetzten Brennstoffs oder Reduktionsmittels interessiert.

Zur Bestimmung des biogenen und fossilen Anteils von Abfällen und daraus erzeugten Ersatzbrennstoffen waren in der Vergangenheit drei Verfahren bekannt:

- die Sortieranalyse,
- die selektive Lösungsmethode und
- die Radiocarbonmethode.

Eine detaillierte Beschreibung dieser Methoden findet sich in den CEN-Normen *TS 15440:2008 Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Biomasse* [2] und *TS 15747:2008 14C-Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Biomasse* [1] sowie bei Staber et al. [11].

Alternativ zu den genannten Verfahren kann bei Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen – darunter versteht man eine Verbrennungsanlage, in der Abfälle als Ersatz- oder Zusatzbrennstoff bis zu vierzig Prozent der in einem Kalendervierteljahr tatsächlich zugeführten durchschnittlichen Gesamtbrennstoffwärmeleistung eingesetzt werden – die *Bilanzen-Methode* [5, 10] herangezogen werden, um den Anteil an biogenen und fossilen CO_2-Emissionen, die beim Betrieb der Anlage entstehen, zu bestimmen. Die Methode basiert auf einem mathematischen Abgleich von insgesamt sechs Bilanzgleichungen – fünf Güter- oder Stoffbilanzen und eine Energiebilanz – mit messbaren Größen der Verbrennungsanlage. Jede der Gleichungen charakterisiert eine bestimmte Abfalleigenschaft, z.B. Aschegehalt, Heizwert, usw. Der große Vorteil der Bilanzen-Methode gegenüber den oben genannten Verfahren beruht darauf, dass der gesamte Brennstoff, der in der Anlage im gewählten Bezugszeitraum eingesetzt wird, charakterisiert werden kann. Dieser Vorteil ist allerdings mit dem Nachteil verbunden, dass die Brennstoffzusammensetzung nur rückwirkend, d.h. nach dessen Verbrennung, ermittelt werden kann.

Im Fall aufbereiteter Abfälle – Ersatzbrennstoffe – ist eine rückwirkende Charakterisierung in der Regel ungenügend, da gesicherte Informationen über die Zusammensetzung des Brennstoffs – z.B. Gehalt an biogenem und fossilem Kohlenstoff – bereits vor ihrer energetischen Verwertung von den Abnehmern eingefordert werden.

Aus diesem Grund wurde an der TU Wien ein neues Verfahren [6], basierend auf dem Prinzip der Bilanzen-Methode, zur Bestimmung des biogenen und fossilen

Anteils von Ersatzbrennstoffen entwickelt. Anhand der Analyse definierter Brennstoffgemische, z.B. Mischungen aus Holz, Papier und bestimmten Kunststoffen, wurde das Verfahren validiert. Die Ergebnisse dazu sowie eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens sind Inhalt dieses Beitrags.

2. Beschreibung der Methode

Die entwickelte Methode basiert darauf, dass die chemische Zusammensetzung biogener und fossiler (wasser- und aschefreier) Materialien unterschiedlich ist [10]. Insbesondere die Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalte der Materialien unterscheiden sich deutlich. Diese Tatsache wird benutzt, um fünf Stoffbilanzgleichungen zu erstellen. Dazu wird der getrocknete Ersatzbrennstoff gedanklich in drei Stoffgruppen unterteilt: inerte (m_{inert}), biogene (m_{biogen}) und fossile (m_{fossil}) Materialien.

Kohlenstoffbilanz

Der organische Kohlenstoffgehalt des trockenen Ersatzbrennstoffs oder Sekundärrohstoffs $TOC_{Probe} = (TC_{Probe} - TC_{inert} \bullet m_{inert})/(1 - m_{inert})$ entspricht der Summe des organischen Kohlenstoffs der biogenen und fossilen Materialien ($C_{biogen} \bullet m_{biogen}$ und $C_{fossil} \bullet m_{fossil}$). Wertebereiche für die organischen Kohlenstoffgehalte biogener bzw. fossiler Materialien (C_{biogen} und C_{fossil}) lassen sich aus Sortieranalysen mit anschließenden Elementaranalysen im Labor oder aus Literaturangaben ableiten [5].

$$C_{biogen} \bullet m_{biogen} + C_{fossil} \bullet m_{fossil} = TOC_{Probe} = \frac{TC_{Probe} - TC_{inert} \bullet m_{inert}}{1 - m_{inert}}$$

Wasserstoffbilanz

Der organische Wasserstoffgehalt des trockenen Brennstoffs oder Sekundärrohstoffs $TOH_{Probe} = (TH_{Probe} - TH_{inert} \bullet m_{inert})/(1 - m_{inert})$ entspricht der Summe des organischen Wasserstoffs der biogenen und fossilen Materialien ($H_{biogen} \bullet m_{biogen}$ und $H_{fossil} \bullet m_{fossil}$). Wasserstoffgehalte biogener und fossiler Materialien lassen sich, analog zu den Kohlenstoffgehalten, aus Sortieranalysen mit anschließenden Elementaranalysen im Labor oder aus Literaturangaben ableiten.

$$H_{biogen} \bullet m_{biogen} + H_{fossil} \bullet m_{fossil} = TOH_{Probe} = \frac{TH_{Probe} - TH_{inert} \bullet m_{inert}}{1 - m_{inert}}$$

Sauerstoffbilanz

Der organische Sauerstoffgehalt des trockenen Brennstoffs oder Sekundärrohstoffs $TOO_{Probe} = (TO_{Probe} - TO_{inert} \bullet m_{inert})/(1 - m_{inert})$ entspricht der Summe des organischen Sauerstoffs der biogenen und fossilen Materialien ($O_{biogen} \bullet m_{biogen}$ und $O_{fossil} \bullet m_{fossil}$).

$$O_{biogen} \bullet m_{biogen} + O_{fossil} \bullet m_{fossil} = TOO_{Probe} = \frac{TO_{Probe} - TO_{inert} \bullet m_{inert}}{1 - m_{inert}}$$

Schwefelbilanz

Der organische Schwefelgehalt des trockenen Brennstoffs oder Sekundärrohstoffs $TOS_{Probe} = (TS_{Probe} - TS_{inert} \bullet m_{inert})/(1 - m_{inert})$ entspricht der Summe des organischen Schwefels der biogenen und fossilen Materialien ($S_{biogen} \bullet m_{biogen}$ und $S_{fossil} \bullet m_{fossil}$).

$$S_{biogen} \bullet m_{biogen} + S_{fossil} \bullet m_{fossil} = TOS_{Probe} = \frac{TS_{Probe} - TS_{inert} \bullet m_{inert}}{1 - m_{inert}}$$

Stickstoffbilanz

Der organische Stickstoffgehalt des trockenen Brennstoffs oder Sekundärrohstoffs $TON_{Probe} = (TN_{Probe} - TN_{inert} \bullet m_{inert})/(1 - m_{inert})$ entspricht der Summe des organischen Stickstoffs der biogenen und fossilen Materialien ($N_{biogen} \bullet m_{biogen}$ und $N_{fossil} \bullet m_{fossil}$).

$$N_{biogen} \bullet m_{biogen} + N_{fossil} \bullet m_{fossil} = TON_{Probe} = \frac{TN_{Probe} - TN_{inert} \bullet m_{inert}}{1 - m_{inert}}$$

Zusätzlich zu den angeführten Stoffbilanzen sind im Rahmen der Berechnung noch weitere Nebenbedingungen zu berücksichtigen:

Für biogene Materialien kann angenommen werden, dass die Summe aus C-, H-, O-, N- und S-Gehalten (wasser- und aschefrei) näherungsweise 1.000 g/kg wasser- und aschefreie Substanz ergibt, während für fossile Materialien, je nach dem Anteil an chlorierten und fluorierten Kunststoffen und damit dem Fluor- und Chlorgehalt ein etwas geringerer Wert als 1.000 g/kg angenommen werden muss.

$$C_{biogen} + H_{biogen} + O_{biogen} + S_{biogen} + N_{biogen} \approx \leq 1.000$$

$$C_{fossil} + H_{fossil} + O_{fossil} + S_{fossil} + N_{fossil} \approx 970 \pm 20^{1}$$

Ebenso muss die Summe der aus Analysedaten berechneten organischen C-, H-, O-, N- und S-Gehalte der aschefreien organischen Substanz näherungsweise 1.000 g/kg ergeben, wobei wiederum je nach dem Anteil an chlorierten und fluorierten Kunststoffen ein etwas geringer Wert als 1.000 g/kg angenommen wird.

$$\frac{TC_{Probe} + TH_{Probe} + TO_{Probe} + TS_{Probe} + TN_{Probe}}{(1 - m_{inert})} - \begin{pmatrix} TC_{inert} + TH_{inert} \\ + TO_{inert} + TS_{inert} + TN_{inert} \end{pmatrix} \bullet \frac{m_{inert}}{(1 - m_{inert})} \approx 985 \pm 15^{2}$$

[1] 970±20 g/kg ist ein typischer Wert für Ersatzbrennstoffe, die aus hausmüllähnlichen Abfällen erzeugt wurden

[2] 985±15 g/kg ist ein typischer Wert für Ersatzbrennstoffe, die aus hausmüllähnlichen Abfällen erzeugt wurden

Um zu den für die Berechnung erforderlichen Eingangsdaten (m_{inert}, TC_{Probe}, TC_{inert}, TH_{Probe}, TH_{inert}, TO_{Probe}, TO_{inert}, TN_{Probe}, TN_{inert}, TS_{Probe}, TS_{inert}) zu gelangen, sind folgende Aufbereitungsschritte und Analysen erforderlich:

1. Aus dem zu charakterisierenden Ersatzbrennstoff wird eine (repräsentative) Probe entnommen.

2. Das Probenmaterial wird bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, wobei aus dem gemessenen Massenverlust – Differenz aus der Masse vor und nach der Trocknung – der Wassergehalt des zu charakterisierenden Materials berechnet wird.

3. Anschließend wird das Probenmaterial aufbereitet, d.h. die Korngröße des Materials wird verringert. Im Allgemeinen wird das Probenmaterial zwischen den Zerkleinerungsschritten verjüngt. Die *finale* Korngröße des Materials wird primär von der Heterogenität des Materials und von der Analyseneinwaage – zur Bestimmung des Gehaltes an C, H, O, N, und S – bestimmt.

4. An einem Teil des Probenmaterials wird der Aschegehalt m_{inert} oder Glühverlust (m_{biogen} + m_{fossil}) bestimmt. Im Allgemeinen wird die Probe dazu bei Temperaturen von 550 °C so lange geglüht, bis keine Gewichtsabnahme mehr festzustellen ist.

5. Mit Hilfe eines Elementanalysators wird der Gehalt an C, H, O, N und S bzw. C, H, O und N bzw. C, H, O und S bzw. C, H und O des (trockenen) Probenmaterials (Brennstoff oder Sekundärrohstoff) sowie des Glührückstandes bestimmt.

Abschließend wird unter Verwendung der oben angeführten Gleichungen der Anteil an biogenen und fossilen Materialien (m_{biogen} und m_{fossil}) im zu untersuchenden Brennstoff oder Sekundärrohstoff berechnet.

3. Darstellung der durchgeführten Versuche

Um eine erste Validierung der beschriebenen Methode durchzuführen, wurden definierte Gemische aus fossilen und biogenen Materialien hergestellt. Im Konkreten wurden dazu Polyethylen, Polystyrol, Papier und Holz in unterschiedlichen Verhältnissen (Massenanteile biogener zu fossilen Materialien: 10:90, 20:80; 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10) miteinander vermischt. Die Materialgemische wurden anschließend gemäß der beschriebenen Methode analysiert, um den Anteil an fossilen und biogenen Materialien zu berechnen. Die dabei erhaltenen Ergebnisse wurden abschließend mit der bekannten Zusammensetzung – dem eingewogenem Mischungsverhältnis – verglichen.

Aus Platzgründen sind im Folgenden nur die Ergebnisse und Auswertungen für die Mischungen von Holz und Polyethylen dargestellt. Eine detaillierte Zusammenfassung der restlichen Analyseergebnisse für Materialgemische aus Polystyrol, Papier und Holz befindet sich in Ausarbeitung [4].

Verwendete Materialien

Im Konkreten wurden folgende Materialien für die Erstellung definierter Materialgemische eingesetzt: Für Polyethylen (PE) wurden Weithalsflaschen der Firma Azlon (Typ: BLH 0100P) verwendet. Der Behälterkörper besteht aus reinem PE. Für das Material Holz wurde eine Holzsteige für Obst und Gemüse herangezogen. Diese kann als typisch für die Holzanteile im Restmüll angesehen werden.

Kalibriersubstanzen

Bei der Elementaranalyse mittels CHNSO-Analysator ist prinzipiell keine Kalibrierung erforderlich, es muss lediglich ein *Tagesfaktor* ermittelt werden, um zeitliche Schwankungen zu unterbinden. Bei einem Überschuss an PE wurde Acetanilid als Kalibiersubstanz verwendet, ansonsten Sulfanilamid. Die Zusammensetzung der Substanzen ist in Tabelle 1 dargestellt. Ebenso wurde versucht die optimalen Analysenparameter (O_2-Dosierung usw.) für die unterschiedlichen Mischungen – und damit unterschiedlichen Konzentrationen an C und H – anzuwenden.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Kalibiersubstanzen

	C	H	N	S	O
	g/100 g				
Acetanilid	71,1	6,7	10,4	–	11,8
Sulfanilamid	41,81	4,65	16,25	18,62	–

Probenaufbereitung

Die beiden Materialien, PE und Holz, wurden im ersten Schritt mittels Schneidmühle (SM 2000, Firma Retsch) auf eine Korngröße < 1 mm gemahlen. Anschließend wurde die Proben mit einer Ultrazentrifugalmühle (ZM 200, Firma Retsch) auf < 0,2 mm gemahlen.

Die gemahlenen Proben wurden anschließend folgenden Analyseschritten unterzogen:

- Bestimmung des Glühverlustes

  Von allen Reinsubstanzen sowie Mischungen wurde der für die Bilanzierung notwendige Glühverlust m_{ash} bestimmt, indem 5 bis 10 g Probe eine Stunde bei 350 °C (sanfte Pyrolyse des Kunststoffes) und anschließend fünf Stunden bei 550 °C ± 25 °C und Lufteindüsung behandelt wurden.

- Messung der Reinsubstanzen

  Hierfür wurden jeweils 40 mg des gemahlenen PE bzw. des gemahlenen Holzes in 15 Zinnschiffchen eingewogen und zur Analyse in den *vario MACRO CHNS Analysator* (Firma Elementar) aufgegeben. Die große Anzahl an Mehrfachbestimmungen wurde gewählt, um einerseits mögliche Inhomogenitäten des Materials zu erkennen, sowie andererseits gesicherte Informationen über die Analysegenauigkeit (Reproduzierbarkeit) des verwendeten Gerätes zu erhalten.

- Messung von definierten Mischungen

  Die gemahlenen Proben an PE und Holz wurden gemäß den oben beschriebenen Verhältnissen (10:90, 20:80, bis 90:10) zu Analyseproben von jeweils 20 mg eingewogen und auf ihren C-, H-, S- und N-Gehalt analysiert. Für die einzelnen Mischungsverhältnisse wurden jeweils sechs Sechsfachbestimmungen durchgeführt.

- Messung des Glührückstandes aus dem Glühverlust

  Abschließend wird in der Regel auch der Glührückstand einer Elementaranalyse unterzogen. Aufgrund des geringen Glührückstandes (< 1 %) wurde im gegenständlichen Beispiel allerdings auf die Analyse des Glührückstandes verzichtet.

4. Darstellung der Messergebnisse

Die Analysen der gemahlen PE- und Holz-Proben führten zu den in den Tabellen 2 bis 4 dargestellten Ergebnissen.

Tabelle 2: Elementarzusammensetzung der gemahlenen Holz- und PE-Proben

Material		C	H	N	S
		g/kg TS			
PE	Mittelwert	861	144,3	0,5	1,2
	Standardabweichung	2,2	0,25	0,25	0,08
Holz	Mittelwert	448	63,1	16,9	1,1
	Standardabweichung	2,2	0,23	1,2	0,07

Tabelle 3: Elementarzusammensetzung (Mittelwerte) der Gemische aus Holz und PE

Mischungsverhältnis		C	H	N	S
PE	Holz				
Massenanteile in %		g/kg TS			
88,6	11,4	818	132	2,5	1,3
80,5	19,5	786	125	3,4	1,2
70,7	29,3	749	118	4,2	1,3
61,2	38,8	705	110	5,4	1,1
50,4	49,6	667	102	6,5	1,3
40,4	59,6	626	93,9	7,5	1,3
30,1	69,9	584	85,6	8,9	1,3
20,0	80,0	543	77,1	9,9	1,3
10,1	89,9	499	69,4	11,2	1,2

Schlagwortverzeichnis

A

Abfall
  mineralischer 51
  mittelkalorischer 67
  -aufbereitung
    weitgehende zu hochwertigen Ersatzbrennstoffen 59
  -behandlung
    energieeffiziente 92
    mechanisch(-biologisch)e 39, 74, 107, 115
  -rahmenrichtlinie 78, 101
  -sammelfahrzeuge
    biogasbetriebene 371
    erdgasbetriebene 361
AbfallWirtschaftsGesellschaft mbH (AWG) Bassum 67
Absorberrohr 403, 413, 443, 451
Absorptions
  -kältemaschinen 109
  -wärmepumpen 109
Abwärmenutzung 311
Aerobisierung
  fester Gärreste 369
Aktivierungsenergie 310
Akzeptanz 123
Altholz
  -preise 334
  -verbrennung 323
Ammoniakschlupf 331
Amortisationszeit
  energetische 443
Analysenprobe
  Stand der Technik zur Gewinnung 16
Anergie 100
Äquivalenzwerte 268
Arbeitsschutz 385
Atmosphäre
  gefährliche explosionsfähige 387
Auftragsschweißung
  siehe Schweißplattierung
Ausbrandverhalten 300

B

Balance Sheet-Finanzierung 446
Baustellenplattierung 241, 253
Beschleunigungsband 43
Bestimmung der biogenen und fossilen Kohlenstoffgehalte von EBS 3
Betriebssicherheitsverordnung 394
Bettascheabzug 327
Bilanzen-Methode 4
Bilanzgrenzen 97
Bilanzierung
  von Stoff-, Massen- und Energieströmen 266
Bioabfälle
  getrennt gesammelte 357
  Kompostierung
    offene
      Emissionen 371
  Vergärung 357
  Verwertung
    energetische und stoffliche 358
    Öko-Bilanzierung 370
Bioerdgas
  siehe Biomethan
Biofouling
  bei Offshore-Sensoren 477
Biogas 69, 387
  Aufbereitung auf Erdgasqualität 358, 369
  Einspeisung ins Gasnetz 358, 361
  ökologische und ökonomische Prüfung verschiedener Nutzungsoptionen 371
  -anlagen 375
    Input- und Output-Stoffströme 376
    sicherheitstechnische Konzepte 385
  -kraftstoff 371
  -nutzung
    für den BSR-Fuhrpark 357
  -transportkunden 358
Bio-LPG 286
Biomasse
  Energieeffizienz bei der energetischen Nutzung 265, 283
  Erzeugung flüssiger Brennstoffe 274, 276
  Herstellung von Brenngasen 278
  Methanisierung 278
  Pyrolyse 284
  thermischbasierte Konversionsverfahren 283
  Verbrennung
    Korrosionsphänomene 240
    Wirbelschichtverfahren 145
  Vergärung 359
  Vergasung 278, 284, 302
    dezentrale 299
    Prozessführung 300
    Teerproblematik 288
  -(heiz)kraftwerk 284
    Hameln 323
  -konversionsverfahren
    biologisch-basierte 286

Biomasse (Fortsetzung)
-Paradoxon 94
-pellets 271
-verarbeitung
in dezentralen Anlageneinheiten 285
in einer zentralen Anlage
mit großem Einzugsradius 285
-vergaser-BHKW 278
Biomethan 286, 358
Einspeisung ins Erdgasnetz 358, 361
Bremer Wollkämmerei AG (BWK) 68
Brenngas aus der Biomassevergasung 308
Aufbereitung 303
Entteerung
mittels Primärmaßnahmen 306
mittels Sekundärmaßnahmen 309
Brennstoffe
molare H/C- und O/C-Verhältnisse 81
Bruttowirkungsgrad
elektrischer 99

C

Cadmiumtellurid-Zellen 464
Calcinatorfeuerung 81
Carnot-Wirkungsgrad 100
Chemical Looping Combustion 310
Chlorgehalt
des Ersatzbrennstoffs 46
CHNSO-Elementaranalysator 3
Choren-Verfahren 275
CIS-Dünnschichtzellen 464
Cladding
siehe Schweißplattierung
CMT-Schweißtechnik 251
CO_2-Bilanzen
Anwendung auf Verfahren
zur energetischen Nutzung
von Abfällen 91
Cold Metal Transfer 251
Condition Monitoring Systeme (CMS) 475

D

Dampferzeuger
solarer 421
Dampfspeicher 416
Dampfturbine
für ein solarthermisches Kraftwerk 422
Deflagration 387
Dekanter 377
Desertec Industrial Initiative (DII) 403, 441
Desertec-Konzept 432
Detonation 387
Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt 442, 455
Direct Normal Irradiation (DNI) 410, 449
Direkteinstrahlung
Intensität 410
weltweite Verteilung 410
Direktnormalstrahlung 445
Direktverdampfung
bei solarthermischen
Parabolrinnenkraftwerken 429
Direktverflüssigung 275
Dish Stirling System 406
DNI 410, 449
Doppelbrennerschweißverfahren 255
Drehrohröfen 82
Düngemittelkonzentrat 380
Dünnschichtzellen 463
organische 464
Düsenboden 327
offener 327

E

Edelenergien 100
Effizienz
optische 414
EG-Abfallrahmenrichtlinie 78, 101
Einstrahlungsmessungen 410
Eisenaufmischung
an der Oberfläche
der Schweißplattierung 256
Emissionsaustauschverhältnis 269
Energie
erneuerbare 438
-abnahme 123
-austauschverhältnis 84, 267
-bilanzen 95, 266
-effizienz 97, 233
bei der energetischen Nutzung
von Biomasse 265, 283
-formen
mechanische 100
thermische 100
unterschiedliche Wertigkeiten 100
-kennzahlen 91, 97
politische 101
thermodynamische 98
-pflanzen 337
-steuer 85
-technik 268

Energie (Fortsetzung)
-verbrauch
weltweiter
Entwicklung 438
-versorgung
dezentrale 316
Energy Payback Time 464
Enertec Hameln 323
Equity-Finanzierung 446
Erdgas
-Fahrzeuge 364
-Tankstellen 364
Ereignismerkmal-Schlüssel-System 475
Ersatzbrennstoff 3
Aufbereitung 57
Ausbrandverhalten 82
Ausbringen 44
biogener Anteil 3, 46
Charakterisierung 82
Chlorgehalt 46
Erzeugung für die deutsche
Zementindustrie 75
Flugverhalten 82
gering aufbereiteter 67
NIR-Positivgewinnung
aus gemischten Siedlungsabfällen 39
Probenahmeverfahren 232
qualitativ hochwertiger 60
Qualitätssicherung 15
Schwermetallgehalte 47
Verringerung des Chlorgehalts 62
Wirbelschichtverfahren zur
energetischen Verwertung 145
Zündverhalten 82
Ersatzbrennstoff-Kraftwerk
Andernach 231
Bremen (MKK) 225
Bremen-Blumenthal 73
Frankfurt Höchst 215
Ersatzbrennstoff-Kraftwerke 217
Energieformen und -abnahme 124
Feuerungssysteme 127
in Deutschland 115
Anlagen in Bau 120
Anlagen in Betrieb 119
Anlagen in Planung 121
Entwicklung der Anlagenzahl und
Kapazität von 1999 bis Juni 2009 119
gestoppte Projekte 122
Erwärmung
globale 95
Etagenwirbelschichtofen 145
Exergie 100
-effizienz 100
-faktor
temperaturabhängiger 100
Explosion
Voraussetzungen 387
Explosions
-gefahren 387
-grenze
obere 387
untere 387
-schutz 387
äußerer 390
innerer 390
primärer 388
sekundärer 388
tertiärer (konstruktiver) 388
-schutzdokument 396

F

Fallnahtposition 248
Farbeindringverfahren 257
Feinaufbereitung 62
Festbettvergaser 302
Fest/Flüssig-Separation 378
Feststoffspeicher 416
Fischer-Tropsch-Synthese 276, 293
Fluidspeicher 416
Flüssigsalz 416
spezifische Speicherkosten 417
Forschungszentrum Karlsruhe 275
Fresnel-Reflektor-System 404

G

Gärrest 375
Aerobisierung 369
Aufbereitung 375
Kosten 384
Leistungsfähigkeit 381
Massenbilanz 381
Verfahrenstechnik 377
Ausbringung auf landwirt. Flächen 375
Flächenkonkurrenz mit Klärschlamm-
ausbringung und Gülledüngung 375
Düngewirkung 382
typische Zusammensetzung
aus einer landwirtschaftlichen
Biogasanlage 376
Verwertung 375
Gas
-aufbereitung 299
-entteerung 302
-erzeugungswirkungsgrad 290
-kühlung 313
-motoren 302

Gas (Fortsetzung)
-netze
der öffentlichen Versorgung
Qualitätsanforderungen 359
Hochdruckleitungen für den überregionalen Transport 361
Mitteldrucknetze für die regionale Verteilung 361
Verteilernetze für die Kunden 361
vorrangiger Zugang von Biomethan 358
-netzentgeltverordnung 359
-netzzugangsverordnung 358
-qualität 313
-tankstelle 364
-turbine
solare 430
Gegenstromreaktor 306
Gesamtenergienutzungsgrad 100
Gleichstrom
-reaktor 307
-vergaser 302
Glühverlust 308
Grobaufbereitung 60
Großkraftwerkstechnologie
solare 443
GWE Gesellschaft für wirtschaftliche Energieversorgung mbH 231

H

Hausbrand 271
Hausmüll
biogener und fossiler Kohlenstoffgehalt 92
Heiß
-entteerung 309
-gasfilter 289
-gasreinigung 304
Heizkraftwerk Blumenthal GmbH 68
Heizwärmeerzeugung 271
Heizwertanteile
fossile und biogene 13
Heizzahl 99
Heliostaten 405, 456
H-Gas 361
HiTRec Receivertechnologie 458
Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) 441
Hochspannungsnetze 441
Hochtemperaturkraftwerke
solarthermische 455
Holzhackschnitzel 271, 308
Hybrid
-betrieb
solarer 430
-kraftwerke 421
-kühlverfahren 423
Hydrozyklon 53

I

IHKW Industrieheizkraftwerk Andernach GmbH 232
Indonesien 337
Infraserv GmbH & Co. Höchst KG 215
Integrated Solar Combined Cycle System (ISCCS) 430
Projekte weltweit 431

J

Japan
Vergasungstechnologie für Hausmüll 106

K

Kaltgas
-reinigung 304
-wirkungsgrad 288, 308
Karlsruher Institut für Technologie 275
Katalysator
bei der chemischen Gasaufbereitung 305
sauerstoffübertragender 310
-alterung 311
-bett 310
-vergiftung 311
Kegelumluftsichter 64
Kennzahlen zur Energieeffizienz
politische 101
thermodynamische 98
Klinkerbrand 75
Kohle
beispielhafte Zusammensetzung flüchtiger Bestandteile 81
Kohlendioxidemissionen
spezifische 269
Kohlenstaubflamme 80
Kohlenstoff
biogener und fossiler 92
Stoffffluss 93
-gehalt
biogener und fossiler Bestimmung 3
-umsatzgrad 308

Koks 307
-ausbrand 80
Kombi-Gegen-Gleichstrom-Vergaser 317
Kompostierungsanlagen mit offener Rotte
Emissionen 371
Konzept
sicherheitstechnisches 388
Korrosion 327
Korrosions
-phänomene
bei mit Biomasse gefeuerten
Dampferzeugern 240
bei mit Ersatzbrennstoff gefeuerten
Dampferzeugern 240
-potenzial 300
-schutz 241
Kosten-Wirksamkeits-Analyse 95
Kraftanlagen München GmbH 455
Kraft-Wärme-Kopplung 109, 125
Kraftwerk
solarthermisches
Andasol I (E) 402, 443, 446
Andasol II und III (E) 403, 446
Jülich (D) 455
Nevada Solar One (USA) 402
PE-1 405
PS 10 (E) 405
Kraftwerke
solarthermische 401, 437, 457
Betriebsweise 425
Dampfturbine 421
energetische Amortisationszeit 443
Hybridanlagen 421
Hybridbetrieb mit Gas
oder Biomasse 430
Kühlung 422
kumulierte Kapazitäten bis 2015 408
Länder mit Einspeisevergütungen 409
Lebenserwartung 446
Marktteilnehmer 411
Platzbedarf 417
Primärkreislauf 417
Prognosen zum Anstieg
der installierten Leistung 441
Projekte 407
Projektentwicklung 444
Projektfinanzierung 445
Sekundärkreislauf 417
Speichertechnologie 416
Standortauswahl 445
Stromgestehungskosten 427, 431
Überblick über die länderspezifische
Förderung 409
weltweit installierte
Stromerzeugungskapazität 407
Kraftwerksinsel 418
Kurzlichtbogenprozess 251

L

Latentwärmespeicher 416
L-Gas 361
Logistik- und Bereitstellungslager 70
Lösungsmethode
selektive 4
LPG-Synthese 293

M

M(B)A 74, 107, 115
Bassum 67
Ennigerloh 59
Meschede 39
Meerwasserentsalzungsanlage 439
Mehrkanal-Brenner 82
Mehrstufenvergaser 303
Metallkatalysator 309
Meteostationen 448
Methan 387
-einspeisung 278
-explosionen 387
-herstellung
zur Netzeinspeisung 280
-synthese 292
Methanisierung von Biomasse
Wirkungsgrad 279
MIG/MAG-Schweißverfahren 242
Mittelkalorik-Kraftwerk 67
Bremen (MKK) 225
Mitverbrennung
in Kohlekraftwerken 97, 116
in Zementwerken 78, 116
MKK 225
MOE-Richtlinie
japanische 104
Motoren
erdgasbetriebene 363
MVA Amsterdam 110

N

Nachführanlage
für Photovoltaikmodule 465
Nahinfrarot (NIR)-Technik 39, 43, 62
Nasskühlung 422

Nettowirkungsgrad
elektrischer 99
energetischer 96
Netzanschluss
für Biomethan 358
Netzparität 466
Netzstabilisierung 457
Nickelbasislegierungen 241
Niedertemperaturwärme 109
NIR 62
-Positivgewinnung
von Ersatzbrennstoffen 39
-Sortierung 43
-Technik 63

O

Odorierung 361
Offshore-Sensorik
Biofouling 477
Einsatzbereiche 477
Zuverlässigkeit 477
Offshore-Windparks
Benchmarking 476
Kapazität weltweit
bis zum Jahre 2020 471
Offshore-WMEP 475
Ökobilanz 95
Ökoeffizienz-Analyse 95
Ökostromgesetz
österreichisches 103
Oxidation
katalytisch partielle 310, 312
nichtkatalytisch partielle 311, 315
Oxidationskatalysator 313

P

Palmöl 233
Palmölproduktionsprozess 341
Energiebedarf 347
Rückstände 337
Papierfabriken 126
Paraboloid 429
Parabolrinnen
Direktverdampfung 429
Nachführungssystem 413
-kollektoren 402
-system
optische Effizienz 414
-technologie 403, 443
Wärmeträgermedium 404
Parabolrinnenkraftwerke 402, 440, 446
Anlagengesamtwirkungsgrad 424
Betriebsweise 425
Energieverluste
im Kraftwerk 424
im Solarfeld 424
Investitionskosten 428
Lebenserwartung 446
schematische Darstellung 419
Parabolspiegel 412, 451
Stützstruktur 413
Pelletkessel 272
Pfropfenströmung
quasikontinuierliche 368
Photovoltaik 461
Dünnschichttechnologie 461
Gestelltechnik 465
kristalline Technologie 461
Nachführsysteme 465
-industrie 461
-zellen
Typen 462
Power Purchase Agreement (PPA) 444
Pressbohr
-maschine 34
-methode 15
Pressschnecken-Separatoren 377
Primärluftdüsen
Verschleiß 332
Zusetzen durch Metallschmelzen 332
Primärteer 308
Proben
-aufbereitung 16
-nahme 16
Projektfinanzierung
solares Großprojekt 445
PVC-Materialien
Abtrennung aus dem Ersatzbrennstoff 62
Pyrolyse
von Biomasse 284

Q

Qualitätssicherung
von Ersatzbrennstoffen 15
Quasi-Festkörperbeprobung 19

R

R1
-Formel 101
-Kriterium
der EG-Abfallrahmenrichtlinie 92

Radiocarbonmethode 4
Rasselstein GmbH 231
RAVE 475
REACH 78
Receiver 405, 459
  offene volumetrische 457
Reflektoren
  parabolrinnenförmige 403
Remondis 39
research at alpha ventus 475
Restabfallbehandlung
  mechanisch-biologische 39, 74, 107, 115
Riffelteiler 17
Rohbiogas
  -aufbereitung 361
    auf Erdgasqualität 362
  -reinigung 361
Rohpalmöl-Produktionsprozess 339
Rostfeuerung 127
  wassergekühlte 73, 233
Rotating Shadowband Pyranometer 448
Rowitec-Technologie 218
RSP-Sensor 448

S

Salzschmelzen 406
Sandbett
  fluidisiertes 218
Sanierungsplattierung 242
Sauerstoff
  -speicher 310
  -trägermaterialien 310
Schadensdatenbanken
  für Windenergieanlagen 474
Schlacke 74
  -aufbereitung 58
Schubbodenzellen 73
Schutzgase
  für die Schweißplattierung 248
Schwachgas 307
Schweißplattierung 240
  Einflussgrößen auf die Qualität 253
  einlagig mit fünfzig Prozent
    Überlappung 249
  einlagig/zweilagig 249
  Eisenaufmischung 256
  für Ersatzbrennstoff- und
    Biomassekessel 239
  Schutzgas 248
  Schweißtechniken 249
  zweilagig 249
Schweiß
  -position 248
    Fallnahtposition 256
    Wannenlage 256
  -technik
    Innovationen 251
  -zusatzwerkstoff Thermanit 625 243
Schwermetallgehalte
  in Ersatzbrennstoffen 47
Schwingsieb 64
SDE-Zuschüsse
  in den Niederlanden 102
Sekundärbrennstoffe
  siehe Ersatzbrennstoffe
Sekundärreflektor 405
Sicherheitstechnik
  bei Biogasanlagen 385
Siebklassierung 42
Silizium
  monokristallines 463
  polykristallines 463
  -zellen 462
    amorphe 464
    kristalline 463
    mikrokristalline 464
Solar Electricity Generating Systems
  (SEGS) 402
Solarfeld 442, 450
  Investitionskosten 428
  Wartung und Instandhaltung 426
  Wirkungsgrad 414
Solarhybrid-Mikroturbinen 430
Solar-Institut Jülich 455
Solarkollektoren 443
Solarkraftwerk
  Systemvarianten 429
Solar Millennium AG 441
Solarmodule 462
  Wirkungsgrad 466
Solarparks 407
Solarplan für den Mittelmeerraum 409
Solarstrahlung
  Bestimmung der globalen
    und direkten 448
Solarsysteme
  konzentrierende 403
Solarthermisches Demonstrations- und
  Versuchskraftwerk Jülich 455
Solarturmkraftwerk 402, 405, 457
  Jülich 455
  Wärmeträgermedien 406
SOLGATE Projekt 430

Sortier
-analyse 4
-schlauch 52
Speicher
thermischer 416, 439, 451, 456
-technologie
direkte 416
indirekte 416
für Wärmeenergie 416
Speisereste 375
Stadtwerke Jülich GmbH 455
Stäube
organische brennbare 387
Steinkohlefeuerung
Umrüstung einer Wirbelschicht
auf Altholzfeuerung 323
Umrüstung auf Ersatzbrennstoffe 68
Stirling-Motor 406
Straßenkehricht
Aufbereitung 55
Strohheizkraftwerk 288
Strom
-anteil 99
-erzeugung
optimierte 110
solarthermische
Systemvarianten 429
-verbund
interkontinentaler 441
-verlustkennzahl 99
-versorgungsverordnung
Schweizer 103
Strom und Wärme
relative Wertigkeit 105
Structural Health Monitoring (SHM) 476
Substitutionsrate 79
swb Entsorgung GmbH 225
swb Erzeugung GmbH & Co. KG 225
Synthesegas 275
Systemgrenzen 97, 267

T

Tauchheizflächen
im Wirbelbett 332
Technischen Regeln Betriebssicherheits-
verordnungen 386
Teer
-abbau
durch primäre Maßnahmen 302
durch sekundäre Maßnahmen 303
-crackung nach der Vergasung 291
-konzentration 309
-reduzierung und -entfernung
chemische Methoden
im Vergasungsprozess 299
physikalische Verfahren 304
thermochemische Umwandlung
der Kohlenwasserstoffe 304
Teilstromvergärung 69
Teilungskreuzmethode 17
Teilvergasung 308
Thermal Energy Storage 416
Thermanit 625 243
Thermoöl 404
Vor- und Nachteile alternativer
Wärmeträgermedien 416
TiTech 43
Torque Box 413
Tracking System 413
Trägermaterial 310
Treibstoffe
synthetische 275
Trocken
-drehrohrofen 82
-fermenter 367
-kühlung 423
-sorption 331
-vergärung
einstufige, thermophile 367
nach dem System Dranco (OWS) 69
von Bioabfällen 358
Trommelsieb 43
Turmkraftwerk
solarthermisches 402, 405, 457
in Jülich 455

U

Überhitzer
externer 233
Standzeiten 332
Uhlig Rohrbogen 243
Ultrafiltration 379
Umkehrosmose 380
Umrüstung einer Steinkohlefeuerung
auf Ersatzbrennstoffe 68
einer stationären Wirbelschichtanlage
auf eine Altholzfeuerung 324

V

Verbrennung
partiell unvollständige 328

Verfügbarkeit
von Windenergieanlagen
Methoden zur Erhöhung 475
Vergärung 375
von getrennt gesammelten
Bioabfällen 357
Vergasung
von Biomasse 278, 284, 302
dezentrale 299
Teerproblematik 288
Wirbelschichttechnologie 303
zur Strom- und Wärmeerzeugung 299
von stückigen Brennstoffen
Reaktionsablauf 301
Wirbelschichtreaktoren 145
Vergasungs
-gas 299
-systeme 106
Verschlackungspotenzial 300
Vertikalsetzmaschine 51, 58
Vielstoffbrenner 82

W

Wahrscheinlichkeitsvorhersage
für den Ausfall bestimmter Bauteile
oder Baugruppen 475
Wannenlage 248
Wärme
Gewichtung gegenüber Strom 105
optimierte Nutzung 109
-auskopplung 99
-nutzungsgrad 99
-rückgewinnung
regenerative 311
-speicherung
in solarthermischen Kraftwerken 417
-trägermedien 414, 443, 459
Thermoöl 404
Vor- und Nachteile anderer
Wärmeträgermedien gegenüber
Thermoöl 415
Wechselrichter 465
Werksplattierung 241, 253
Wickelmodule 380
Windenergie
weltweit installierte Leistung 471
Windenergieanlagen
Ausfallzeit je Schaden 473
Instandhaltungsplanung 475
jährliche Schadenshäufigkeit 473
Lastwechselzahl während der
rechnerischen Lebensdauer 476
Schadensdatenbanken 474
Structural Health Monitoring System 478
Verfügbarkeit
Methoden zur Erhöhung 475
Zuverlässigkeit 471
Wirbelbett
Reinigung 332
Wirbelschicht
Altholzzufuhr 326
rotierende 127, 145, 218
stationäre 127, 145, 324, 326
zirkulierende 127, 145
für die Vergasung von Biomassen 288
-feuerung 145, 215, 217, 313
-kessel
mit integrierten Wärmetauschern 218
kohlebefeuerter
Umbau für die Altholzverwertung 323
-reaktoren
Vergasung 145
-technik
Grundlagen 145
-trockner 145
-verbrennung
Emissionen 145
-verfahren zur Abgasbehandlung 145
-vergaser 303
Wirkungsgrad 98, 315
bei der energetischen Nutzung
von Hausmüll 95
Berechnung
indirekte 99
energetischer 95, 99
Steigerung 108
von Solarmodulen 466
Wobbeindex 361

Z

Zement 75
-herstellung
technische Rahmenbedingungen 75
-industrie
Anteil des Ersatzbrennstoffeinsatzes
an der Feuerungswärmeleistung 79
Energieeffizienz 85
-klinker 75
Zerkleinerung 41
Zick-Zack-Sichter 64
Zünd
-quellen 388
-verhalten 300
-verzögerungen
von Steinkohlestaub, Braunkohlestaub
und Ersatzbrennstoff-Mehlen 84