K. J. Thomé-Kozmiensky
Michael Beckmann

ERNEUERBARE ENERGIEN

Band 6

Biomasse und Biogas
Ersatzbrennstoffe
Windenergie

TK

Karl J. Thomé-Kozmiensky
Michael Beckmann

Erneuerbare Energien

Band 6

Biomasse und Biogas

Ersatzbrennstoffe

Windenergie

TK

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Erneuerbare Energien, Band 6
– Biomasse und Biogas, Ersatzbrennstoffe, Windenergie –
Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011
ISBN 978-3-935317-65-8

ISBN 978-3-935317-65-8 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

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

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc. und Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Erfassung und Layout: Nicole Bäker, Janin Burbott, Petra Dittmann, Sandra Peters,
Martina Ringgenberg, Ginette Teske
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

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

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

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

Dieser Band ist vornehmlich der technischen Umsetzung von Projekten zur Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern gewidmet. Abgehandelt werden die Themen Biomasse, Produktion und Verwertung von Biogas, stoffliche und energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen und Windenergie.

Die energetische Verwertung von Biomassen ist weit entwickelt und seit längerer Zeit eingeführt, so dass hier auch über Randthemen und über spezielle Untersuchungen berichtet werden kann. Dagegen ist die stoffliche Verwertung noch weitgehend im Anfangsstadium. Hier wird über Konzepte, z.B. über die Ressourceneffizienz von Bioraffinerien, die Herstellung von Flüssiggas und die Entwicklung von Biomassekoks referiert.

In Deutschland gibt es schon einige hundert Biogasanlagen. Die Technik weist dennoch ein enormes Entwicklungspotential auf, z.B. bei der Optimierung der Prozessketten, der Energieeffizienz und der Biogasaufbereitung.

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung wurde seit 2005 in zahlreichen Anlagen realisiert und gehört inzwischen zum Stand der Technik für die Restabfallbehandlung. Hier werden eine während des Betrieb laufend optimierte Anlage und Konzeptionen der Abgasbehandlung vorgestellt.

Ersatzbrennstoffe sind inzwischen knapp, so dass die Zuzahlungen an die Verwerter erheblich zurückgegangen sind. Die Rentabilität dieser Verwertungsanlagen kann daher im Einzelfall gefährdet sein. Standardisierung der Anlagen und Rationalisierung des Betriebs können auch diese Anlagen wirtschaftlich machen. Die Hauptverwertungswege sind Ersatzbrennstoff- und Kohlekraftwerke sowie die Zementindustrie. Die Situation dieser Anlagen wird ausführlich dargestellt. Auch die rohstoffliche Verwertung gewinnt an Bedeutung, wie das Projekt zur Herstellung von Calciumkarbid unter Verwertung von Kunststoffabfällen zeigt.

Zum Thema Windenergie wird über technische Entwicklungen und Perspektiven, über Ertragssteigerung durch Betriebsoptimierung und über Verdichtung von Windparks berichtet.

Mai 2011

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

Inhaltsverzeichnis

Stoffliche Verwertung von Biomasse

Das Konzept der Bioraffinerie – Schlüssel für Ressourceneffizienz
Birgit Kamm 3

Entwicklung von Biomasse-Koks als alternativer Energieträger für metallurgische Prozesse
Guillermo Peña Chipatecua, Saulo H. Freitas Seabra da Rocha und Peter Quicker 13

Technologie und Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Flüssiggas aus Biomasse
Bernd Benker, Andreas Lindermeir und Annett Wollmann 21

Gewinnung von selektiven Vergärungsprodukten aus biologisch abbaubaren Siedlungsabfällen durch Mazeration
Marc Hoffmann, Johannes Jager und Günter Müller 41

Energetische Verwertung von Biomasse

Biogene Reststoffe zur Nutzung als holzpelletäquivalente Brennstoffe
Daniel Bernhardt, Martin Pohl, Kathrin Gebauer, Simon Unz, Martin Müller und Michael Beckmann 57

Untersuchung des Abbrand- und Emissionsverhaltens verschiedener biogener Brennstoffe in Kleinfeuerstätten mittels IR-Kamera- und Abgasanalytik
Christian Gierend, Judith Stauder und Sebastian Georg 71

Katalytisch partielle Oxidation polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Holzgas – Modell und Experiment –
Dorith Böhning und Michael Beckmann 97

Energetische Nutzung flüssiger Nebenprodukte aus der Sojaverarbeitung
Norbert Schopf 121

Produktion und Verwertung von Biogas

Biogas – Die Prozesskette von der Sammlung bis zur Abwasserentsorgung
Christina Dornack 133

Biogasproduktion aus unterschiedlichen Bioabfällen in der Freien und Hansestadt Hamburg
Anke Boisch 153

Kontinuierliche Trockenvergärung am Beispiel der Anlage Mondercange in Luxemburg
Jürgen Schütte, Torsten Baumann und Martin Hummitzsch 161

Energieeffizienz der Wärmeerzeugung für Bioabfallvergärungsanlagen ohne BHKW
Thomas Raussen und Nils Oldhafer 173

Biogasaufbereitung zu Bioerdgas
Karsten Kanning und Ketel Ketelsen 183

Erfahrungen mit der Biogasproduktion und Netzeinspeisung in Europa – Technologieüberblick, Leistung, Kosten und Anlagenbeispiele –
Dieter Jürgen Korz 199

ORC-Kleinkraftwerke für die Gewinnung von elektrischer Energie aus der Abwärme von Biogasmotoren
Ingo Schröter 207

Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Erfahrungen in der Herstellung von Ersatzbrennstoffen in MPS-Anlagen
Doris Michalski und Andreas Wendt 221

Ansätze zur Neukonzeption der RTO-Technologie in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen
Olaf Neese und Otto Carlowitz 231

Stoffliche und energetische Ersatzbrennstoff-Verwertung

Standardisierung und Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen in Europa – Schadstoffgehalte, biogener Anteil –
Sabine Flamme und Julia Geiping 251

Rohstoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen zur Herstellung von Calciumcarbid
Karl J. Thomé-Kozmiensky 263

Herstellung hochwertiger Ersatzbrennstoffe aus heizwertangereicherten Abfallfraktionen für den Einsatz in den Primärfeuerungen der Zementindustrie
Egon Hoffmann und Mark Kragting 271

Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Kohlekraftwerken – Anlagen und Projekte, EBS-Mengen und -Qualitäten, Betriebserfahrungen, Trends und Prognosen –
Stephanie Thiel 283

Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland
Markus Gleis und Ulf Raesfeld 315

Schweißplattier-Erfahrungen mit Dampferzeugern im EBS-Kraftwerk
Wolfgang Hoffmeister und Arne Manzke 329

Windenergie

Technische Entwicklung der Windenergieanlagen und Perspektiven
Torsten Faber und Lisa Klinke 355

Windkraft – Ertragssteigerung durch Betriebsoptimierung
Matthias Herrmann 365

Die Verdichtung bestehender Windparks
Janko Geßner 367

Wirtschaftlichkeit von Offshore Windparks in Deutschland – Erfahrungen aus dem Testfeld alpha ventus und Konsequenzen für die Offshore-Windenergie –
Jörg Buddenberg, Wilfried Hube und Claus Burkhardt 377

Dank 391

Autorenverzeichnis 395

Inserentenverzeichnis 409

Schlagwortverzeichnis 413

Stoffliche Verwertung von Biomasse

Das Konzept der Bioraffinerie – Schlüssel für Ressourceneffizienz

Birgit Kamm

1. Historie und Definition der Bioraffinerie 5

2. Bioraffinerie-Systeme 5

3. Wie gewinnt der Chemiker definierte Moleküle aus Biomasse? 8

4. Bioraffinerie-Anlagen 9

5. Grüne Bioraffinerie als regionales Wirtschaftskonzept 9

6. Ausblick 10

7. Quellen 11

150 Jahre nach Beginn der Kohlechemie und siebzig Jahre nach Beginn der Erdölchemie tritt die Industrielle Chemie in ein neues Zeitalter. Im 21. Jahrhundert wird die Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der stoffwandelnden Industrie an Bedeutung gewinnen.

Die partielle oder gar vollständige Umstellung ganzer Volkswirtschaften auf erneuerbare Rohstoffe erfordert völlig neue Ansätze in Forschung, Entwicklung und Produktion. Der Schlüssel ist die Entwicklung von Bioraffinerie-Technologien und Systemen. Die diesen Systemen eigene, integrierte Produktion von Nahrungsmitteln, Chemikalien und Energieprodukten bietet sich als die energie- und ressourceneffizienteste Lösung zur Nutzung Nachwachsender Rohstoffe als Ersatz fossiler Rohstoffe. Damit kann die Nutzung von Biomasse durch effiziente Kombination physikalischer, chemischer und biotechnologischer Verfahren einen wichtigen Beitrag zu Klimaschutz und Ressourceneffizienz leisten.

Die Mehrzahl der biologischen Rohstoffe wird in der Landwirtschaft, der Waldwirtschaft und durch mikrobielle Systeme produziert. Waldbaupflanzen sind ein hervorragender Rohstoff für die Papierherstellung, für Holzwerkstoffe und die Bauwirtschaft. Abfallbiomassen aus der Agrarwirtschaft sowie Biomassen der Natur- und Landschaftspflege sind wertvolle organische Rohstoffreservoire und entsprechend ihrer organischen Zusammensetzung zu nutzen.

Im Hinblick auf den Erhalt des Lebensstandards unserer wie nachfolgender Generationen wird es eine wichtige Aufgabe sein, die Funktionsweise der Erdölraffinerien auf Biomasse verarbeitende Bioraffinerien zu übertragen. Diese nutzen dann in Analogie in großer Menge verfügbare biologische Rohstoffe bzw. Rest- und Abfallstoffe der Agro- und Lebensmittelproduktion.

Die Petrochemie beruht auf dem Prinzip, aus Erdöl einfach zu handhabende und definierte, chemisch reine Grundstoffe in Raffinerien zu erzeugen. In effizienten Produktlinien wurde ein System des Stammbaumes aufgebaut, in dem aus Basischemikalien, Zwischenprodukte und Veredlungsprodukte erzeugt werden. Das Funktionsprinzip von Erdölraffinerien muss auf Bioraffinerien übertragen werden. Biomasse enthält die Syntheseleistung der Natur und hat ein anderes C:H:O:N-Verhältnis als Erdöl. Die Verknüpfung von biotechnologischer und chemischer Stoffwandlung wird eine große Rolle spielen (Bild 1).

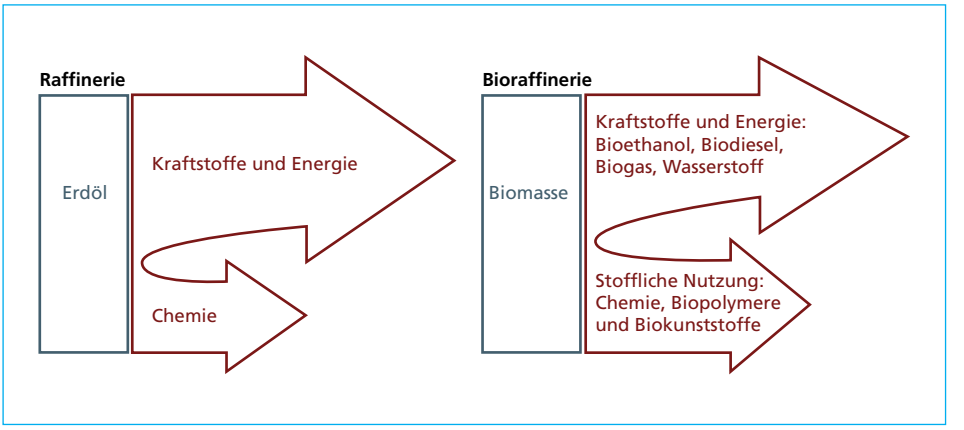


Bild 1: Vergleich der Basisprinzipien der Erdölraffinerie und der Bioraffinerie

Es wird in der Europäischen Chemischen Industrie abgeschätzt, dass 28 % der Rohstoffe bis zum Jahre 2025 auf Basis von Biomasse hergestellt werden können. Zur Analyse von notwendiger Forschung, Entwicklung und Implementierung von Bioraffinerie-Systemen in bestehende agroindustrielle und forstwirtschaftliche Strukturen in Verknüpfung mit Standorten der Chemie- und Kraftstoffproduktion hat die Europäische Commission folgende strategische Projekte durchführen lassen, die aktuell abgeschlossen sind.

- BIOPOL, European Biorefineries: Concepts, Status & Policy Implications,
- Biorefinery Euroview: Current situation and potential of the biorefinery concept in the EU: strategic framework and guidelines for its development,
- SUSTOIL for developing advanced biorefinery schemes to convert whole European oil-rich crops into energy, food and bio-products making optimal uses of the side streams generated during farming/harvesting, primary processing and secondary processing
- BIOREF-INTEG: for developing advanced biorefinery schemes to be integrated into existing industrial fuel processing complexes.

1. Historie und Definition der Bioraffinerie

Arbeiten an Bioraffinerie-Konzepten, d.h. zunächst die Fraktionierung von Biomasse in Anlehnung an die Physiologie und biologisch-chemische Vielfalt der Inhaltsstoffe und entsprechende Nutzung und Verarbeitung der so erhaltenen Fraktionen, gab es schon lange, bevor der Name Bioraffinerie/biorefinery etwa ab der Mitte der 80iger Jahre des 20. Jahrhunderts in der Fachwelt auftauchte. Wissenschaftlich lassen sich solche Arbeiten bis zu den französischen Chemikern G.F. & H.M. Roulle im Jahre 1773 (Herstellung von Proteinextrakten aus Luzerneblättern) zurückverfolgen. Erste Beispiele zur Technologieentwicklung der Fraktionierung von Biomassen waren die Gewinnung von Nahrungsmittel-Proteinfraktionen aus grünen Pflanzen, wie Luzerne; die Gewinnung von Protein-Xanthophyll-Konzentraten (siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts) die amerikanischen und chinesischen Verwertungskonzepte für schnellwachsende Holzgräser (frühe achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts) sowie die Agro-Konzepte zur gekoppelten Grünfutter- und Reststoffverwertung, wie kombinierte Erzeugung von Silage, Rohprotein und Biogas (frühe achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts).

Zur heutigen Etablierung der Bioraffinerie-Systeme trugen insbesondere pflanzenphysiologische und ökologische Betrachtungen [16], ökonomische Überlegungen, wie biotechnologisch-chemische Verwertungskonzepte von Melasse, einem Bulk-Nebenprodukt der Zuckerraffination zur Erzeugung von Aminosäuren sowie die Getreide-Nassmahlverfahren mit angeschlossenen biotechnologischen und chemischen Produktlinien zur Erzeugung von Stärkederivaten, Cyclodextrinen, Fructose und Fettsäuren bei.

Allgemein ist Biorefining der Transfer von Effizienz und Logik der fossil-basierten Chemie und stoffwandelnden Industrie sowie der Energieproduktion auf die Biomasse-Industrie.

Das National Renewable Energy Laboratory (NREL) publizierte folgende Definition für den Term Bioraffinerie: *A biorefinery is a facility that integrates biomass conversion processes and equipment to produce fuels, power and chemicals from biomass. The biorefinery concept is analogous to today's petroleum refineries, which produce multiple fuels and products from petroleum. Industrial biorefineries have been identified as the most promising route to the creation of a new domestic biobased industry*.

2. Bioraffinerie-Systeme

Im ersten Schritt einer Bioraffinerie werden Biomassen einer physikalischen Stofftrennung unterworfen. Die Hauptprodukte (H1-Hn) und Nebenprodukte (N1-Nn) werden in Folge mikrobiologischen und chemischen stoffwandelnden Reaktionen ausgesetzt. Die Folgeprodukte (F1-Fn) der Haupt- und Nebenprodukte können dann weiterkonvertiert oder in einer konventionellen Raffinerie Eingang finden. Aktuell werden vier Bioraffinerie-Systeme in Forschung und Entwicklung forciert.

- die *lignocellulosehaltige Feedstock Bioraffinerie*, welche *natur-trockene* Rohstoffe, wie cellulosehaltige Biomasse und Abfälle nutzt,

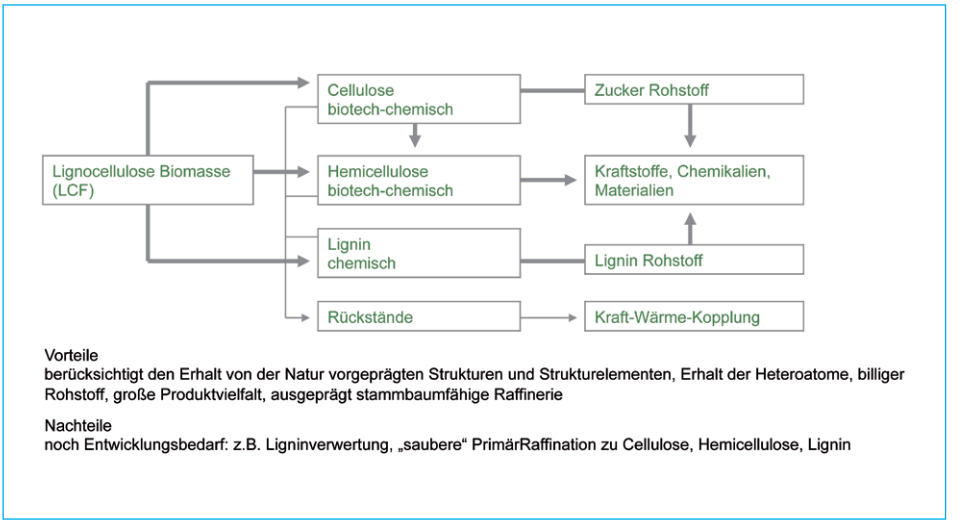


Bild 2: Lignocellulose-Feedstock Bioraffinerie

- die *Ganzpflanzen-Bioraffinerie*, welche Rohstoffe, wie Getreide oder Mais nutzt,

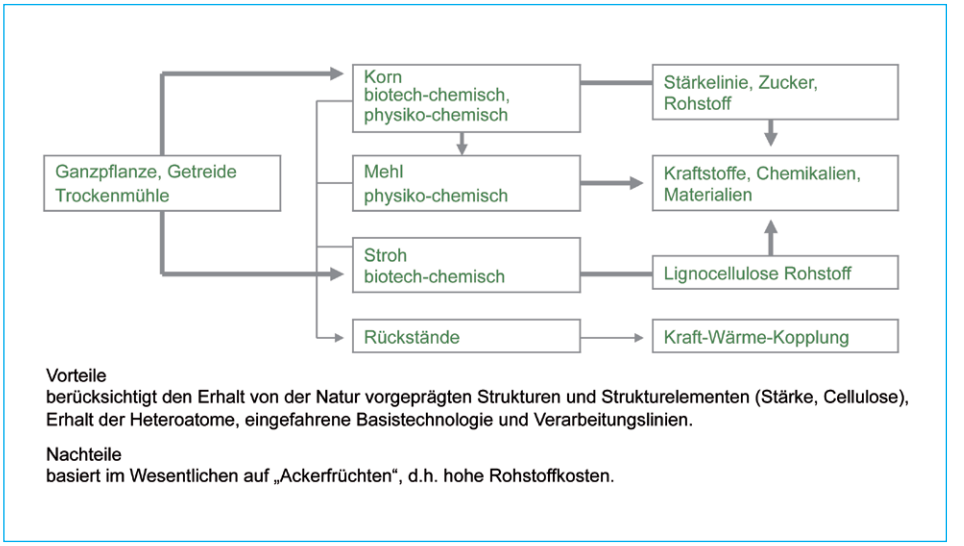


Bild 3: Getreideganzpflanzen-Bioraffinerie

Schlagwortverzeichnis

A

Abbrandverhalten
  biogener Brennstoff 71
Abfallbehandlung
  thermische
    Kapazitäten 317
Abfallvergärung 195
Abgasreinigung
  bei Ersatzbrennstoff-Kraftwerken 322
Abschattungseffekt
  bei Windenergieanlagen 372
Abschattungsverluste
  bei Windenergieanlagen 368
Acetogenese 142
Acidogenese 140
alpha ventus 377
  Erfahrungen aus Entwicklung
    und Bau 380
Anlagenbeispiele
  Bioabfallbehandlungsanlage
    Mondercange, Luxemburg 161
  Biogasaufbereitungsanlage Altenstadt,
    Schongau 203
  Biogasaufbereitungsanlage
    Arnschwang 203
  Biomethanlage Kielen,
    Luxemburg 200, 204
Ascheschmelzverhalten 60
Aufschlussmethode, selektive 257
Ausbrandverhalten
  von Brennstoffen 75

B

Beläge
  in MBA-RTO-Anlagen 242
Bioabfallaufbereitung
  Verfahrensschritte 43
Bioabfallbehandlungsanlage Mondercange,
  Luxemburg
  Biogasaufbereitung 170
  Eintragsspirale 165
  Entwässerung 169
  Fördertechnik 165
  Reaktor 166
  Reaktoraustrag 167
  Zwischenspeicher 163
Bioabfallbehandlungsanlagen
  regenerative Wärmeversorgungs-
    konzepte 173
Bioabfallvergärungsanlagen
  Integration in bestehende Kompostie-
    rungsanlagen 173
  Wärmenutzung von BHKW 176
  Energieeffizienz der Wärme-
    erzeugung ohne BHKW 173
Bioerdgas 175, 183
  -anlage
    Betriebsdaten 194
    Projektablauf 192
Biogas 133
  Aufbereitung für die anaerobe
    Behandlung 140
  Ausgangsmaterial 135
  Ein- und mehrstufige Betriebsweise 138
  Emissionen 147
  Mesophile und thermophile
    Verfahren 139
  Mitverbrennung 123
  Nutzung 143, 174
  Produkte 143
  Trocken- und Nassfermentation 137
  Verbrennung 122
  Verfahren 137
  -aufbereitung
    CO_2-Abtrennung 189
    Entfeuchtung 190
    Entschwefelung 188
    Gasqualitäten 185
    Komponenten 187
    Verfahren 170
    Verfahrensablauf 187
    Verfahrensschritte 185
  -erzeugung
    verfahrenstechnischer Ablauf 137
  -nutzungskonzepte 174
  -produktion 199
    aus unterschiedlichen Bioabfällen 153
  -technologie
    Perspektiven 148
    zu Bioerdgas 183
biogener Anteil
  Bestimmung 254, 257
biogener Brennstoff
  Babacu 76, 84
  Bagasse 78, 93
  Buchenholz 80
  Holzgrillkohle 88
  in Kleinfeuerstätten 71
  Kokosnusskohle 77, 90
  Winzerknorzen 79, 86
  Zielstellung 74

Biomasse 3
Bereitstellungskosten 25
Logistik 25
Verfügbarkeit 25
-Koks für metallurgische Prozesse 13
-nutzung, energetische 57
-rückstände 14
Biomethan 175, 183
-herstellung 201
Bioraffinerie 3
-Systeme 5
Biotonne 154
Bio- und Grünabfälle 153
Brenner(-systeme)
für alternative Brennstoffe 122
für flüssige Nebenprodukte 123
für gasförmige Reststoffe 122
für staubförmige Reststoffe 124
Brenngas 98
Brennprozess
im Zementwerk 273
Brennstoffmodifizierung
Methode 58
Bühler-Wendelin-Verfahren 157

C

^{14}C-Methode 257
Calciumcarbid-Herstellung
rohstoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen 263
Carbidofen 265
Carbonisierungsversuche 15
Cellulose 57
Spurenanalyse 60
CEN/TC 343 Solid recovered fuels 255
Chemical Looping Combustion 105
Cladding (Schweißplattieren)
Behandlung von plattierten Bauteilen 349
CMT-Technik 340
historische Entwicklung 330
konstruktive Ausführungen 343
Lagenaufbau 335
mit 1 mm Schichtdicke 342
Qualitätssicherungsmaßnahmen 333
schwarz-schwarz Verbindung 347
Verfahrensbeschreibung 331
Voraussetzungen 332
weiß-weiß Verbindung 347
Zusammenbau von plattierten Bauteilen 346
CMT-Schweißtechnik
Verfahrensbeschreibung 338

D

Dampfdruckzerstäuber 122
Deutschen Stiftung Offshore-Windenergie 378
Deutsche Offshore Testfeld und Infrastrukturgesellschaft GmbH & Co. KG (DOTI) 378
DOTI 378
Drehzerstäuberbrenner 123

E

Elektroniederschachtöfen 264
Emissionshandel
Bestimmung des biogenen Anteils 257
Emissionsverhalten
von biogenem Brennstoff 71, 75
Erneuerbare Energien-Gesetz 208
Ersatzbrennstoff (EBS)
aus heizwertangereicherten Abfallfraktionen 271
Begriffsbestimmung 252
Bestimmung des biogenen Anteils 257
Einsatz in den Primärfeuerungen der Zementindustrie 271
Herstellung in MPS-Anlagen 221
Klassifizierungssystem nach FprEN 15359 256
Mitverbrennung in Kohlekraftwerken 283
Qualitätsanforderung 252
Standardisierung und Qualitätssicherung 251
-Kraftwerke
Abgasreinigung 323
in Deutschland 315
Kapazitäten 319
-Spezifikationen 283
Expansionsmaschine 214
Extraktion 43

F

Feinaufbereitungsanlagen 278
Flächenkorrosion 237
Flammspritzen 341
Flüssiggas aus Biomasse 21
Biomasseaufbereitung 26
Biomassevergasung 27
LPG-Synthese 27
Produktaufbereitung 27
Produktverwertung 28
Rohgasreinigung 27
Technologie 26
verfahrenstechnische Berechnung 29
Wirtschaftlichkeit 30

Flüssiggas (LPG) 21
Forschungs-Anlage
  Growian 355

G

Ganzpflanzen-Bioraffinerie 6
Gärrest 153, 176
Gaschromatographic 112
Gegenstrom 97
Getreideganzpflanzen-Bioraffinerie 6
Gießereikoks 13
Gleichstrom 97
Growian Forschungs-Anlage 355

H

Holzpellets
  Anforderungen 60
Hydrolyse 140

I

Inertstoff-Abtrennung 228
Innerparkverkabelung 381
IR-Kamera 74

J

Jacket-Fundamente 381

K

Katalysator 98
Klärschlammtrockengranulate 281
Kohlekraftwerke
  Mitverbrennung von Ersatzbrenn-
    stoffen 283
Kohlenwasserstoffe 97
Korrosions
  -erscheinungen
    in RTO-Anlagen 235
  -ursachen
    in RTO-Anlagen 237
  -vermeidung
    in RTO-Anlagen 238
Kreislauffluid 213

L

Lignocellulose-Feedstock Bioraffinerie 6
Lochfraßkorrosion 237
Low-NO_x-Brenner 123
Luftstufung 129

M

Mazeration 41, 43
Mazerationseinheit mit Waschspirale
  Aufbau 44
  Funktionsweise 44
Mazerat-Vergärung 50
MBA-RTO-Anlagen
  Salzablagerungen 242
  Siliziumdioxidablagerungen 243
Methanogenese 142
Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen
  in Kohlekraftwerken 283
    Betriebserfahrungen und Probleme 283
Molasse aus der Sojaproduktion
  energetische Nutzung 121
Motor-ORC 209
  Anlagenkonzeption 209
MPS-Anlagen
  Herstellung von Ersatzbrennstoffen 221

N

Nassvergärung 153
NawaRo-Vergärung 195
Netzeinspeisung 201
  in Europa 199
Niederschachtofen 265

O

Offshore-Windpark 382
  Betriebsoptimierung 377
  Entwicklung 357
  in Deutschland 377
  Investitions- und Betriebskosten 385
  Wirtschaftlichkeit 384
Onshore-Windenergieanlagen 367
ORC-Anlage
  Anlagenkonzept und Fertigung 215
  Expansionsmaschine 214
ORC-Kleinkraftwerke
  Abwärme von Biogasmotoren 207

Oxidation
katalytisch partielle 97
partielle 98
regenerative thermische 231

P

Perkolation 43, 49
Polylactiden 9
Prepiling 381
Prozesssimulation 99

Q

Qualitätssicherung
von Ersatzbrennstoffen 251

R

RAL-Gütesicherung 253
Reaktormodell 98
Reduktionsgeschwindigkeit 109
Refuse Derived Fuels 252
Regeneration 105
Reoxidation 105
Research at alpha ventus (RAVE) 378
Rohgas 102
RTO
-Anlage 231
Begrenzung des Zusatzbrennstoff-verbrauches 244, 245
Begrenzung von Korrosions-schäden 235
Funktionsweise 233
-Technologie
Ansätze zur Neukonzeption 231

S

Sauerstoff
-ausbau 105
-ausbaugeschwindigkeit 113
-träger 99
Schwachgasverbrennung 180
Schweißplattieren (Cladding) mit Dampf-erzeugern
im EBS-Kraftwerk 329
Schweißtechnik – CMT 338
Schwimmkran 380
Soederberg-Elektroden 266
Sojaverarbeitung
energetische Nutzung flüssiger Neben-produkte 121
Solid Recovered Fuels 252
Sortieranalyse, manuelle 257
Stabilisierung
mechanisch-physikalische 221
Stadtreinigung Hamburg 153
Standardisierung
von Ersatzbrennstoffen 251
Standsicherheit
Nachweis durch Turbulenzgutachten 372
von Windenergieanlagen 369, 372

T

Teer 97
-reduzierung 98
temperaturprogrammierte Desorption 109
Treibhausgasemissionshandelsgesetz
Novelle 324
Zuordnung von Feuerungs- und Abfall-verbrennungsanlagen 325
Tripod-Fundamente 380
Trockenfermentation 153
Trockenvergärung
am Beispiel der Anlage Mondercange, Luxemburg 161
kontinuierliche 161
Trommeltrockner 227
Trommeltrocknungsanlagen 276

U

Ultra-Low-NOx-Brenner 123

V

Verbrennungsmotor 97
Verdichtung
von bestehenden Windparks 367
Verfahren
katalytische 97
Vergärung
organischer Abfälle 153
Vergärungsprodukte, selektive 41
Verschlackung 58
Verschlackungsneigung
von alternativen Brennstoffen 57
Verschleißreduktion
bei der Ersatzbrennstoff-Herstellung 227
Vinasse 121

W

Wärme- und Stofftransport 99

Windenergieanlagen 357
  Abstandsregelung 372
  Perspektiven 355
  Standsicherheit 369
  technische Entwicklung 355

Windenergieertrag 386

Windklau 368
  Abwehrrecht 372

Windkraft
  Ertragssteigerung 365

Windpark
  alpha ventus 377
  Konfliktlage bei der Verdichtung 368
  Verdichtung 367

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
  Flüssiggas aus Biomasse 21

Z

Zementherstellung 271

Zementwerk
  Brennprozess 273
  Brennstoffzugabestellen 274
  Ersatzbrennstoffe 274
  Feinaufbereitungsanlagen 278
  Klärschlammtrockengranulate 281
  Wasssergehalt der Ersatzbrennstoffe 275

Zuzahlungen
  für Ersatzbrennstoffe 283
    zur Mitverbrennung 283

Zweiphasenmodell 99