K. J. Thomé-Kozmiensky
Michael Beckmann

Energie aus Abfall

Band 3

TK

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 3
Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007
ISBN 978-3-935317-30-6

ISBN 978-3-935317-30-6 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 2007
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky und Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Martina Ringgenberg und Kerstin Rosendräger
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.

Inhaltsverzeichnis

Konzepte für die Abfallwirtschaft

Verbrennung ist unverzichtbarer Baustein einer ökologisch orientierten Abfallwirtschaft
Karl J. Thomé-Kozmiensky 3

Was wäre die Entsorgungswirtschaft ohne die Abfallverbrennung?
Andreas Troge 27

Klimaschutz und aktuelle Entwicklungen in der Abfallpolitik
Thomas Rummler 35

Einordnung von Abfallverbrennungsanlagen im Hinblick auf die energetische Verwertung
Michael Beckmann, Ferdinand Kleppmann, Johannes J. E. Martin, Reinhard Scholz und Helmut Seifert 47

Investitionsbedarf in der Türkei
Oktay Tabasaran 61

Wer kann es besser? – Ist die Rekommunalisierung der richtige Weg?
Rüdiger Siechau 69

Verfahren der Ersatzbrennstoffherstellung

Massen- und Energiebilanzen der Ersatzbrennstoffherstellung und -verwertung
Sabine Flamme und Sigrid Hams 87

Stand und Perspektiven der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen in Österreich
Wolfgang Staber und Karl E. Lorber 97

Möglichkeiten der Ausschleusung von Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen
Martin Kranert und Gerold Hafner 115

Ersatzbrennstoffherstellung mit mechanisch-physikalischen Stabilisierungsverfahren – Betriebserfahrungen und Ergebnisse aus dem Regelbetrieb am Beispiel der MPS-Anlage Reinickendorf –
Doris Michalski, Andreas Wendt und Uwe Büll 125

ZAK-Technik zur Erzeugung von Ersatzbrennstoff – Perkolation und mechanische Trennung –
Gerhard Rettenberger 139

Erfahrungen aus dem zweijährigen Betrieb von mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsverfahren – Herstellung und Verwertung von heizwertreichen Fraktionen –
Bernd E. Müller 153

Produktion von Biomasse aus kommunalem Sperrmüll
Ronald Gillner und Thomas Pretz 161

Niedertemperatur-Tunneltrockner zur optimierten Wertstoffgewinnung
Reinhard Schu und Kirsten Schu 171

Verbrennung von Ersatzbrennstoffen

Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen hinsichtlich brennstofftechnischer Eigenschaften
Michael Beckmann, Martin Pohl und Sokesimbone Ncube 203

Energieeffizienz – Wohin geht der Trend?
Edmund Fleck 221

Korrosions-Früherkennung bei Abfall-, Biomasse- und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken
Wolfgang Spiegel, Thomas Herzog, Renate Jordan, Gabi Magel, Wolfgang Müller und Werner Schmidl 235

Wärmestromdichtemessung an Membranwänden zur Charakterisierung von Belägen in Dampferzeugern für schwierige Brennstoffe
Sascha Krüger und Michael Beckmann 259

Industrie-Kraftwerke für die Verwertung eigener und fremder Ersatzbrennstoffe
Nils Oldhafer, Daniel Depta und Christoph Wünsch 273

Sicherung der Energieversorgung für den Industriestandort Premnitz durch die Energetische Verwertungsanlage für Ersatzbrennstoffe (EVE)
Holger Heinig 293

Fünfundzwanzig Jahre Ersatzstoffe in der österreichischen Zementindustrie
Gerd Mauschitz und Albert E. Hackl 299

Abgasreinigung

Berechnung der Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen
Karl J. Thomé-Kozmiensky, Ernst Thomé und Stephanie Thiel 333

Beeinflussung der Rohgaszusammensetzung und aktuelle Abgasreinigungskonzepte
Ruedi Frey 373

Möglichkeiten und Grenzen der Trockensorption
Jürgen Gottschalk 387

Optimale Abgasreinigung für Abfallverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoff-Kraftwerke
Klaus Meyer und Reinhard Holste 403

Fünfzehn Jahre Betriebserfahrung mit DeNOx- sowie Dioxin- und Furanfiltern in Wien
Alexander Kirchner und Thomas Angerer 419

Was kostet die Halbierung der Grenzwerte für Verbrennungsanlagen? – Energie und Kosten –
Wolf Schulteß 445

Energetische Biomassenutzung

Karlsruher Konzepte zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse
Helmut Seifert 467

Vergasung von Biomassen in einer zirkulierenden Wirbelschicht – Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit –
Stefan Vodegel und Michael Schindler 487

Dezentrale Vergasung von Biomasse – Verfahrensvarianten zur Erzeugung teerarmer Produktgase aus Biomasse –
Egon Erich 503

Katalytische Gasaufbereitung von Brenngas aus der Biomassevergasung
Dorith Böhning und Marco Klemm 519

Optimierte Biogasgewinnung aus bioverfügbaren Stoffen
Günter Busch, Marko Burkhardt und Marko Sieber 541

Sand im Getriebe der Vergärung?
Kirsten Schu 559

Dank 579

Autorenverzeichnis 583

Inserentenverzeichnis 597

Schlagwortverzeichnis 605

Was kostet die Halbierung der Grenzwerte für Verbrennungsanlagen?

– Energie und Kosten –

Wolf Schulteß

1. Stand der Abgasreinigungstechnik für Biomasse- und EBS-Verbrennungsanlagen im Geltungsbereich der 17. BImSchV 446

2. Technische Maßnahmen zur Erfüllung der fiktiven Anforderung nach Halbierung der 17. BImSchV-Grenzwerte 452

2.1. Biomasse-Wirbelschichtfeuerungen 454

2.2. Biomasse-Rostfeuerungen 455

2.3. EBS-Wirbelschichtfeuerungen 456

2.4. EBS-Rostfeuerungsanlagen 457

3. Kostenabschätzung 458

3.1. Biomasse-Wirbelschichtfeuerung 459

3.2. Biomasse-Rostfeuerungen 459

3.3. EBS-Wirbelschichtfeuerungen 460

3.4. EBS-Rostfeuerungen 460

4. Zusammenfassende Bewertung und Kommentierung 462

Das Thema bezieht sich auf die derzeit aktuellen Verbrennungsanlagen für Ersatzbrennstoffe und Biomassen im Geltungsbereich der 17. BImSchV.

Der Einsatz der genannten Brennstoffe dient zur Substitution fossiler Brennstoffe sowie zur ökologischen – CO_2-neutralen – und wirtschaftlichen Energiewandlung. Der Betrieb von EBS- oder Biomasse-Verbrennungsanlagen ist ein Beitrag zur immer wieder geforderten Dezentralisierung der Energieversorgung.

Die genannten Brennstoffe sind in Deutschland durch die Umsetzung der TA Siedlungsabfall und die alternative mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) vorhanden und sollten nutzbringend verwertet (nicht entsorgt) werden.

Deshalb werden derzeit fast nur Verbrennungsanlagen für Ersatzbrennstoffe und Biomassen in Deutschland geplant und errichtet. Die Zahl der bekannten Projekte liegt derzeit bei etwa vierzig bis fünfzig. Zu diesen werden noch einige Feuerungsanlagen aus der energie- und abfallintensiven Industrie kommen, die

über niedrigere Brennstoffkosten, weniger CO_2-Abgaben und die Verwertung eigener brennbarer Reststoffe eine bessere Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung realisieren wollen.

Die Beteiligung der Öffentlichkeit an der Genehmigung derartiger Feuerungsanlagen kann jedoch für die Antragsteller – egal, ob eine neue Anlage oder die Brennstoffänderung genehmigt werden soll – zu Erschwernissen führen. Die Sorge oder Angst der aktiv an Genehmigungsverfahren beteiligten Öffentlichkeit vor zusätzlichen Umweltbelastungen führt vielfach zu Forderungen, die Emis-sionen von Luftschadstoffen noch deutlich unter die bereits vorhandenen niedrigen Grenzwerte der 17. BImSchV zu senken. Diese Forderung wird in der Regel mit dem Einsatz des bestverfügbaren Standes der Abgasreinigungstechnik begründet.

Die Umsetzung des bestverfügbaren Standes der Technik gehört jedoch ohnehin zu den elementarsten Anforderungen des BImSchG. Dies wird durch die Genehmigungsbehörden und ggf. deren Gutachter vorrangig geprüft.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass die geltenden Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV zum Schutz der Umwelt so festgelegt wurden, dass in Verbindung mit der Ableitung der gereinigten Abgase nach den Regeln der TA Luft keine ökologischen Beeinträchtigungen auftreten dürfen und können.

Die Mehrzahl der Schadstoffemissionen wird kontinuierlich gemessen und der zuständigen Behörde übermittelt. Die Messergebnisse werden veröffentlicht.

Deutschland ist mit der Verabschiedung dieses Gesetzeswerkes 1991 allen anderen Ländern beispielgebend vorangegangen.

Deshalb erhebt sich im Zusammenhang mit der Forderung nach Absenkung von Grenzwerten oder *freiwilligen* Höherleistungen der Schadstoffabscheidung auch die Frage nach dem Nutzen und der Verhältnismäßigkeit solcher Forderungen.

1. Stand der Abgasreinigungstechnik für Biomasse- und EBS-Verbrennungsanlagen im Geltungsbereich der 17. BImSchV

Für die Behandlung des Themas ist zunächst der Stand der Abgasreinigungstechnik darzustellen, um eine Vergleichsbasis zu schaffen. Und dies zeigt bereits die Problematik des Themas auf: Es gibt keinen einheitlichen festgeschriebenen Stand der Abgasreinigungstechnik. Jedes Projekt ist ein Unikat. Die Abgasreinigung wird auf der Grundlage zahlreicher Einflussgrößen für jedes Projekt separat geplant.

Dennoch haben sich in den letzten zehn Jahren für die verschiedenen Feuerungsanlagen und *Brennstoffe* bestimmte Abgasreinigungstechniken empfohlen. In diesem Zusammenhang sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Verfahrensentwicklung für 17. BImSchV-Anlagen noch keine zwanzig Jahre alt ist.

Unter dem Eindruck der sehr niedrigen Grenzwerte der neuen 17. BImSchV haben die Betreiber von MVA und deren Planer / Berater verfahrens- und anla-

genintensive Abgasreinigungstechniken nachgerüstet. Es fehlten die Erfahrungen und damit die Sicherheit, ob die niedrigen Grenzwerte dauerhaft eingehalten werden können. Möglicherweise hat auch die HOAI mit dazu beigetragen, dass (zu) üppig investiert wurde.

Die Abgasreinigungsanlagen dieser Zeit – Mitte der 80er bis Ende der 90er Jahre – bestanden aus 6 bis 7 Komponenten. Bild 1 zeigt das Schema einer für die damaligen Abgasreinigungsanlagen typischen Anlagenkette.

Für erfahrene Fachleute aus der Abgasreinigungsbranche war dieser hohe Anlagenaufwand schon damals nicht akzeptabel. So hat der Autor* bereits 1993

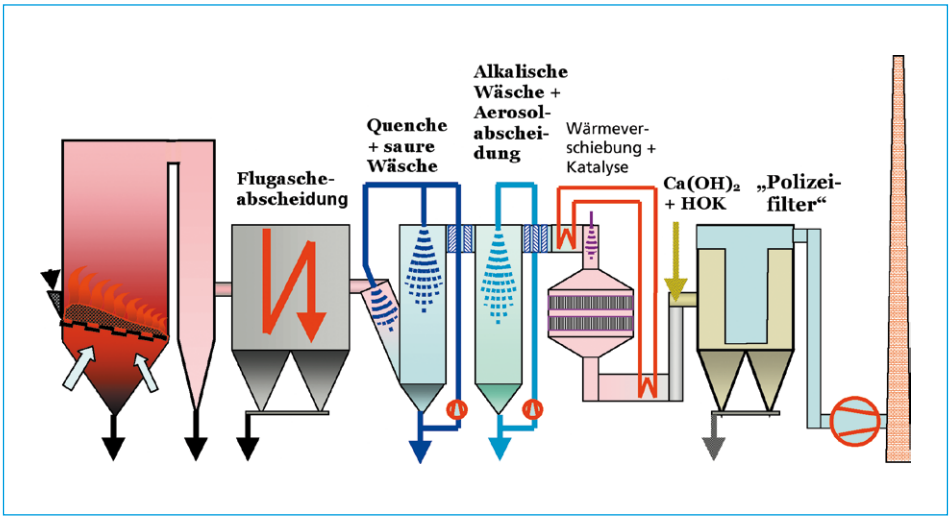


Bild 1: Vereinfachendes Schema einer Abgasreinigungsanlage für die Umsetzung der 17. BImSchV für eine Abfallverbrennungsanlage – ohne Versorgungs- und Reststoffsilos sowie andere Hilfs- und Nebeneinrichtungen

darauf hingewiesen, dass es auch deutlich einfacher und kostengünstiger geht. Seine einfachen Verfahrens- und Anlagenvorschläge wurden jedoch erst zehn Jahre später in die Praxis umgesetzt – auch für anspruchsvolle Aufgaben der 17. BImSchV.

Auch wenn mit dieser umfangreichen Verfahrens- und Anlagentechnik die Grenzwerte der 17. BImSchV zum Teil erheblich unterschritten werden können, wird vom Autor nachdrücklich festgestellt: *Dieser hohe Anlagen-, Energie- und Instandhaltungsaufwand entspricht nicht mehr dem bestverfügbaren Stand der Technik*. Er ist aus wirtschaftlichen und aus ökologischen Gründen unverhältnismäßig.

Der Energiebedarf derartiger Anlagen vereinbart sich nicht mit anderen ökologischen Zielen, wie Energieeffizienz und Verringerung der CO_2-Emission.

* W. Schulteß: *Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Abgasreinigungstechniken*. Vortrag auf der Veranstaltung *Dioxin- und Gesamtemissions-Minimierungstechniken* des VDI-Bildungswerkes am 16./17. 09. 1993 in München

Die Verfügbarkeit einer solchen Anlagentechnik ist stets von der Verfügbarkeit der abgasdurchströmten Einzelkomponente abhängig. Die Neigung zur redundanten Ausrüstung von anfälligen Anlagenteilen war deshalb stets vorhanden, hat aber die Unverhältnismäßigkeit von Technik und Kosten noch verstärkt.

Die Weiterentwicklung von Verfahren zur Luftreinhaltung in den letzten zwanzig Jahren erlaubt schon seit geraumer Zeit, die Einhaltung der 17. BImSchV-Grenzwerte mit deutlich einfacheren Mitteln dauerhaft sicher zu stellen.

Um den heutigen bestverfügbaren Stand der Abgasreinigungstechnik zu beschreiben, müssen die Feuerungsart und der Brennstoff mit berücksichtigt werden.

Insbesondere die Abgastemperatur und -feuchte vor der Reinigungsanlage sowie die Schadstoffkonzentrationen von Chlorwasserstoff (HCl) und Schwefeloxiden (überwiegend SO_2) bilden die Entscheidungsgrundlage für die Wahl des Abgasreinigungsverfahrens.

Nachfolgend wird der derzeit bevorzugte Stand der bestverfügbaren Abgasreinigungstechnik für die Feuerungsarten Rost- und Wirbelschichtfeuerung sowie für die Brennstoffarten Biomasse und Ersatzbrennstoff vorgestellt. Dies schließt nicht aus, dass es auch andere Formen der Abgasreinigung für diese Feuerungsarten und Brennstoffe gibt.

Biomassen und Ersatzbrennstoffe werden überwiegend in Rostfeuerungen verbrannt. Beide Brennstoffe sind jedoch auch sehr gut in Wirbelschichtfeuerungen einsetzbar, die bekanntlich beim Ausbrand und damit bei den verbrennungsbedingten Emissionen Vorteile vor Rostfeuerungen besitzen.

Der heutige Stand der Abgasreinigung für die Verbrennung von Biomasse AI – IV auf dem Rost ist durch den Einsatz der selektiven nichtkatalytischen NO_x-Reduktion und der anschließenden Abscheidung der anderen Schadstoffe entsprechend 17. BImSchV in einem Sorptionsfilter gekennzeichnet.

Bild 2 zeigt ein vereinfachendes Schema einer solchen Verfahrenstechnik.

Für den Sorptionsvorgang wird eine Mischung aus etwa 95 bis 97 Gew.-% Calciumhydroxid ($Ca(OH)_2$) und 3 bis 5 Gew.-% Herdofenkoks eingesetzt. In den meisten Fällen wird das im Filter abgeschiedene staubförmige Produkt zur besseren Ausnutzung rezirkuliert. Auch die Abgaskühlung durch Wassereindüsung – Konditionierung – dient der besseren Reaktion, insbesondere für die Abscheidung der Schwefeloxide (SO_2) – wird aber keineswegs in allen Fällen angewendet.

Mit dieser einfachen Verfahrens- und Anlagentechnik werden die Grenzwerte der 17. BImSchV sicher eingehalten. Sie kosten nur etwa 25 % der ehemals genutzten Anlagentechnik und begnügen sich mit einem um das Vierfache abgesenkten Energiebedarf.

Bei Wirbelschichtfeuerungen wird in der Regel auf die nichtkatalytische Reduktion im Feuerraum verzichtet, weil die Verbrennungsbedingungen eine NO_x-arme Verbrennung erlauben. Die Bindung von Schadstoffen beginnt bei Zugabe von Kalksteinmehl ($CaCO_3$) bereits in der Wirbelschicht. Für die Bindung von

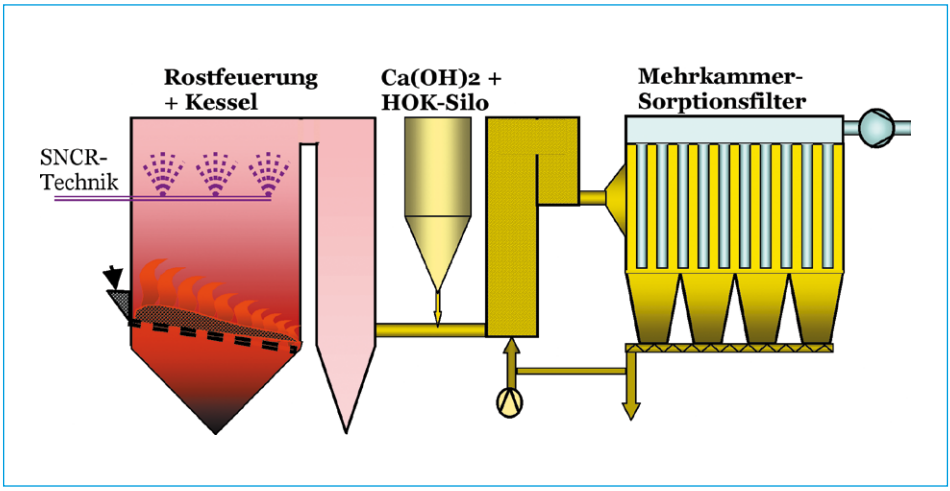


Bild 2: Schema einer Biomasse-Rostfeuerung mit Abgasreinigung entsprechend bestverfügbarem Stand der Technik

Schadstoffen, die nicht bereits in der Wirbelschicht ausreichend aus dem Abgas abgeschieden werden können (HCl, Hg), wird vor dem Sorptionsfilter noch die üblicherweise verwendete Mischung von Calciumhydroxid und Herdofenkoks in die Abgase dosiert. Auf Rezirkulation kann verzichtet werden.

Ein Blockschema zur Abgasreinigung für Biomasse-Wirbelschichtfeuerungen wird in Zusammenhang mit der Behandlung des Kernthemas dieses Manuskripts gezeigt (Bild 6, oben).

Die Abgassituation von Feuerungsanlagen für Ersatzbrennstoffe (EBS) ist wesentlich komplexer, als die von Biomassefeuerungen. EBS sind zwar durch die vorausgehende mehrstufige Aufbereitung – Zerkleinerung, Sortierung, Klassierung und Trocknung – gute Brennstoffe mit Heizwerten, die zwischen denen von Biomasse und Braunkohle angesiedelt sind; andererseits sind sie schadstoffreicher als Biomasse. Insbesondere die relativ hohen Konzentrationen an Chlor – 0,5 bis 2 % – und Schwefel – 0,5 bis 1,5 % – erfordern leistungsstarke Abgasreinigungstechniken.

Dies trifft wiederum besonders für Rostfeuerungen zu, in denen die Einbindung der sauren Schadgase in die Rostasche gering bleibt.

Der Stand der bestverfügbaren Abgasreinigungstechnik ist deshalb noch uneinheitlicher als bei Biomassefeuerungen. Immerhin muss die Abgasreinigung bei sehr hohen HCl- und SO_2-Konzentrationen im Abgas Abscheidegrade von mehr als 99,7 % für HCl und 98 % für SO_2 leisten.

Deshalb werden für EBS-Rostfeuerungen folgende Verfahrens- und Anlagentechniken eingesetzt und gelten heute als bestverfügbarer Stand der Technik:

- Sprühabsorption mit Kalkmilch, nachfolgendes Sorptionsfilter + Rezirku-

lation,

- direkt oder indirekt konditionierte Trockensorption mit Rezirkulation, bei hohen Anforderungen in Verbindung mit Wirbelschichtreaktoren oder ähnlichen Bauarten,
- das Verfahren mit Natriumbicarbonat ($NaHCO_3$) + Filterabscheidung.

Welche Technik zum Einsatz kommt ist neben den Schadstoffkonzentrationen auch von der Abgastemperatur, dem Wassergehalt der Abgase und dem Verhältnis von HCl zu SO_2 im Abgas und weiteren betrieblichen Randbedingungen wie der Größe der Feuerungsanlage und vor allem der jährlichen Nutzungsdauer abhängig.

Die anderen Schadstoffe haben für die Abgasreinigung eine untergeordnete Bedeutung. Ihre Abscheidung auf < Grenzwert ist bei den gesetzlichen Ausbrandbedingungen und der Qualität der Abscheidung und Sorption im Filter unproblematisch.

Bislang wurden die beiden erstgenannten Varianten für EBS-Rostfeuerungsanlagen bevorzugt. Beide Techniken arbeiten mit der bereits bei Biomassefeuerun-gen erwähnten Mischung von $Ca(OH)_2$ und Herdofenkoks (HOK), bei der Sprühabsorption in Form von Kalkmilch mit HOK-Beimischungen oder separater HOK-Dosierung. Im Unterschied zur Abgasbefeuchtung und Kühlung bei der indirekten Konditionierung wird bei der direkten Konditionierung das Rezirkulat befeuchtet. Dies bringt Leistungsvorteile, weil feuchte Reaktionsoberflächen eine höhere Sorptionsleistung erzeugen – vor allem für die Bindung von SO_2.

Die Bilder 3 und 4 zeigen Schemata der modifizierten Sprühabsorption und der konditionierten Trockensorption.

Bild 4: Schema eines Trockensorptions-Verfahrens mit direkter Konditionierung

Bei Abgastemperaturen von > 160 °C – wie sie für EBS-Feuerungsanlagen (und

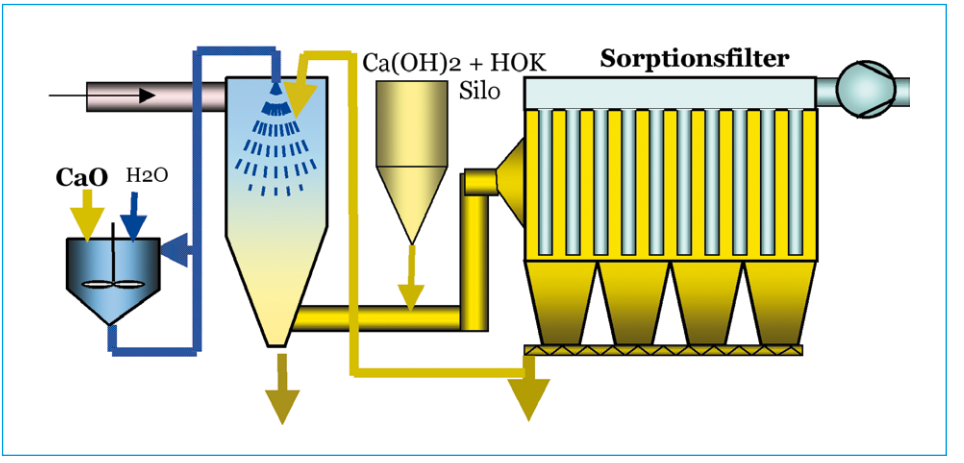
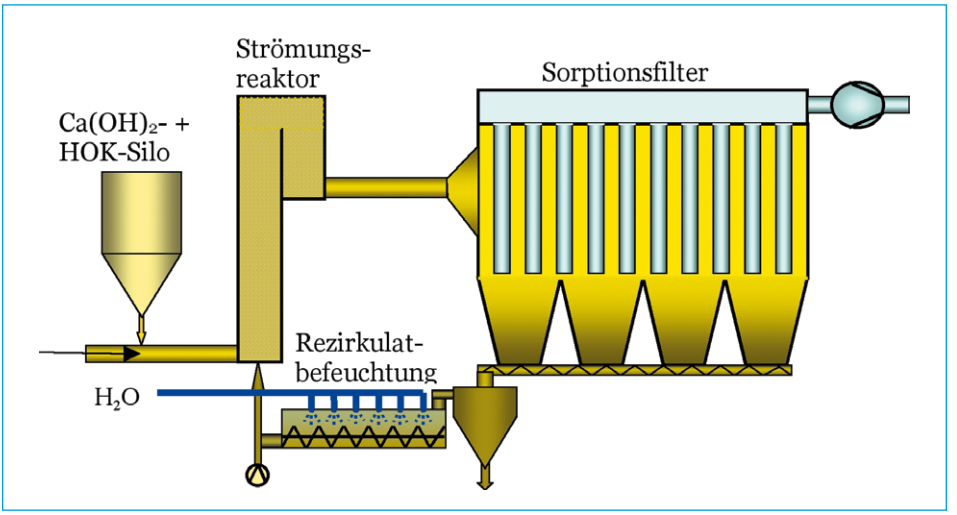


Bild 3: Schema eines modifizierten Sprühabsorptionsverfahrens



Abfallverbrennungsanlagen) zur Vermeidung von Niedertemperaturkorrosion üblich sind – eignet sich auch das letztgenannte Verfahren mit Natriumbicarbonat ($NaHCO_3$) sehr gut für die Abgasreinigung. Dies Verfahren läuft nach einem anderen Chemismus ab als die eher träge, halbtrockene Ionenreaktion der Calcium-basierenden Verfahren. Voraussetzung für den Sorptionserfolg zur Sicherung der Grenzwertunterschreitung ist der rasche thermische Zerfall von $NaHCO_3$, der wiederum eine sofortige Reaktion des neu entstehenden Na_2CO_3 mit den sauren Schadgasen zur Folge hat. Das einfache und leistungsfähige Verfahren wird immer stärker für EBS-Rostfeuerungsanlagen genutzt, weil es anlagentechnische Vorteile besitzt.

In Bild 5 ist ein Schema des $NaHCO_3$-Verfahrens dargestellt.

In dieser einfachen Form (Bild 5) lässt sich das Verfahren anlagentechnisch umsetzen. Allerdings muss die Mühle für das $NaHCO_3$-Granulat redundant ausgeführt werden, weil dort Anbackungen des $NaHCO_3$-Mehls nicht vermeidbar sind.

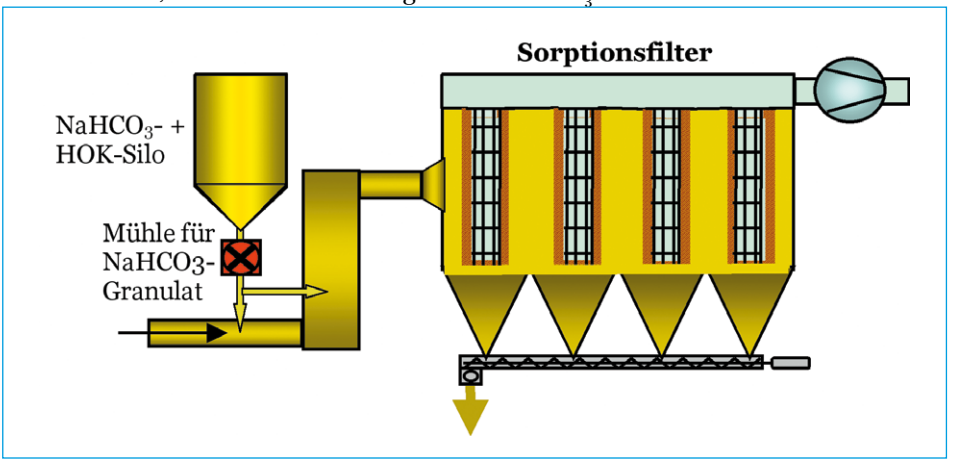


Bild 5: Schema eines $NaHCO_3$-Verfahrens (auch Bicar-Verfahren genannt)

Schlagwortverzeichnis

A

Abbrand
-eigenschaften
fester Brennstoffe 476
-verhalten 478
Abfall
-ablagerungsverordnung 36
-begriff 42
-behandlung
mechanisch(-biologische) 5, 91, 153
in Österreich 97
Verfahren der Zukunft? 112
s. auch MBA
thermische 4, 27, 47, 73, 403
-eigenschaft
Ende 42
-hierarchie
5-stufige 43
-importe 9, 44
-politik
aktuelle Entwicklungen 35
-Rahmenrichtlinie
Auswirkungen 230
Novellierung 41
-trocknung 179
-verbrennung 4, 27
Akzeptanz 6
Ziele und Funktionen 4
-verbrennungsanlagen 403
energetische Bewertung 47
Entwicklung der Kapazitäten 73
Kombination mit einem GuD-Kraftwerk 227, 228
Standortwahl 31
Verwerterstatus 34
-waschung 178
-wirtschaft
kommunale 70
Abgas
-reinigung 403
nasse 347
quasitrockene 347
trockene oder konditionierte trockene 347, 387, 400, 408, 450
Abscheidegrade 343
Abscheideleistung 394
aktuelle Konzepte 382
Investitionskosten in Abhängigkeit von Reingaswerten 296
-reinigungskonzepte 373, 409
-reinigungstechnik 446
bestverfügbarer Stand 448
Abgrenzung
der Verwertung gegenüber der Beseitigung 43, 47
Akzeptanz
der Abfallverbrennung 6
Alkalien 236
Altholzaufkommen 503
Altöl 64
Aluminium
Verhalten in der Feuerung 380
Ammoniumbisulfat 430
Anaerobreaktoren 142
Aquaroll 375
Aquatherm-Verfahren 571
Äquivalenzwerte 51
ASP
-Diagramm 241
-Klassierung 240
Aufbereitung
mechanische 140
von Sperrmüll 162
Aufbereitungstechnik 93
Aufstellungsplanung
für ein Industrie-Kraftwerk 289

B

Bandtrockner 183
Beläge auf den Wärmetauscherflächen 236
Charakterisierung 259
Einfluss auf die Energieeffizienz von Dampferzeugern 260
Belags
-beprobung 249
-monitor 244
-signatur 249
-sonde 242
Berlin 125
bestverfügbarer Stand der Technik 446
Betriebsmittelkosten 397
BICAR-Verfahren 387, 451
Bilanzierung
eines Kraftwerks 287
Bio
-abfälle 41
-abfallvergärung 563
-ethanolanlage 294
-filter 106
-Fluff 575

Biogas 142
Schwefelwasserstoff 542
-bildung 545
-gewinnung aus Nawaros 541
-produktion
Fest-flüssig-Biogasprozess 543
zweistufige Prozesse 556
-technologien
Prozessstabilität 542
Bio Gas Crops Network 556
Biokraftstoffe 468
der ersten Generation 468
der zweiten Generation 470
Bioliq-Verfahren 470
Biomass to Liquid 487
Biomasse 448, 467, 487, 560
Coverbrennung im Kohlekraftwerk 474
dezentrale Vergasung 503
Ernte-Richtwert für Kulturland 471
Produktion aus Sperrmüll 161
stoffliche und energetische Nutzung 467
Transportkosten 472
-(heiz)kraftwerke 475
Anlagenstruktur 475
installierte elektrische Leistung 476
technische Probleme 475
-Rostfeuerungen 449, 455
-Wirbelschichtfeuerungen 454
-nutzungskonzepte
Karlsruher 470
-pellets 511
Vergasung 510
-verbrennung 474
-vergasung 504, 520
Produktgas 504, 511
-verstromung
dezentrale 480
BKB Premnitz GmbH 293
BKB-Anlagennetzwerk 298
Blockheizkraftwerk (BHKW) 482, 520
Brandenburger Weg der Restabfallbehandlung 154
Brenngas 520
Entteerung 521
Brennstoffe
schwierige 235, 259
Brennstoff
-ausnutzungsgrad 54
von MVA 31
-kataster 478
-schwefel 376
Transferverhalten in Abhängigkeit von der Bindungsform 379
-stickstoff 375
-zusammensetzung 212
Brennwertkriterium 98
BTA-Verfahren 567, 571
Bunker 127, 295
Trennwand 295

C

CaO-Trockenlöschanlage 298
CDR 405
Charakterisierung
fester Brennstoffe 476
von Belägen 259
CheMin GmbH 235
Chlor 236, 404
-gehalt 92
-verbindungen
organische 404
Citizen Value 71
Cladding 297
CM 0-2 256
CO_2-Emissionen von Ersatzbrennstoffen
Bilanzierung 276
Corrosion Monitoring
in den ersten beiden Betriebsjahren 256
Cracken
höhermolekularer Kohlenwasserstoffe 508
CTDAS-Verfahren 389

D

Dampfparameter 223
Daseinsvorsorge 70
DeNOx 424, 428
-Katalysator
kombinierte NO_x- und PCDD/F-Minderungs-SCR-Anlage 419, 433
Deponiegasemissionen 36
Deponierecht
Harmonisierung 41
Deponieverordnung (A) 98
Destillation
simulierte 510
Dichtetrennung 116
Dioxine und Furane 27, 429
Zerstörung 431, 434
Dranco-Verfahren 564
DSD
-Sortieranlage 177
-Verpackungen 177
Dulongsche Formel 212

E

EcoEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik 561
Economizer
externer 223
Effizienz
energetische 47
Effizienzformel 44
Eigenschaften
brennstofftechnische 203
Emissionen
aus Anlagen zur Zementerzeugung 319
aus Abfallverbrennungsanlagen
Berechnung 333
Emissionsgrenzwerte
Kosten der Halbierung 445
EnBiPro 287
Energie
erneuerbare 467, 503
Beitrag zur Stromerzeugung 469
Struktur der Stromerzeugung (D) 469
Struktur der Wärmebereitstellung 468
-aufkommen 274
-austauschverhältnis 50
-bedarf der Industrie 274
-bilanzen 49
der Ersatzbrennstoffherstellung und -verwertung 87
-dichte 471
-effizienz 8, 30, 39, 221, 230, 441, 448
politisch/juristische Sicht 56
technische Sicht 48
Einfluss der Beläge auf Wärmeübertragerflächen 260
Steigerung bei MVA
denkbare Anreize für Betreiber 31
-faktoren in der Zementindustrie 306
-gewinnung aus Abfall 30
-träger
erneuerbare 503
nachwachsende 467
-versorgung 293
Entsorgungspreise 74
Entstickungs- und Dioxinzerstörungsanlage 422
Entstickungsanlage 420
Entstickungssysteme 347
Ersatzbrennstoff 203, 403, 448
Anforderungen in Anhängigkeit der Verwertungswege 91
chemisch-physikalische Charakterisierung aus Modellrechnungen 119
Chlorgehalt 135
Gütekriterien 406
Möglichkeiten der Ausschleusung aus Restabfällen 115
Qualitätssicherung 132
Schadstoffgehalte 133, 341
Schüttkegel 295
stoffliche Zusammensetzung aus Modellrechnungen 119
Verwertungskapazitäten 74
-herstellung
Einflussfaktoren 90
Massenbilanzen 87
mechanisch-physikalische Stabilisierung 125
-kraftwerke 6, 39, 73, 230, 273, 293, 403
-mengen
verfügbare 74
-potential
im Restabfall 117
-produktion 404
-rostfeuerungen 450, 457
-standard 405
-wirbelschichtfeuerungen 452, 456
Ersatzrohstoffe 312
Ersatzzumahlstoffe 314
Extended Producer Responsibility 43

F

Farbbildanalyse 175
Fernwärme Wien GmbH 419
Fest-flüssig Biogasverfahren 543
Festbettvergaser 520
Feststoff
-abbrand 478
-vergärung 142
Fischer-Tropsch
-Synthese 487
-Verfahren 472
Fluff 131
Forschungszentrum Karlsruhe 470
fouling-corrosion-factor 240

G

Gärrestetrocknung 186
Gas
-ausbrand 374
-chromatographie 529
-motoren 142, 520
Gegenstrom
-festbettvergaser 513
-vergasung 505

Gips
thermische Stabilität 376
Gleichstrom
-festbettvergaser 513
-vergaser 520
-vergasung 505
Globalisierung 69
Grenzwerte der 17. BImSchV
erhebliche Unterschreitung 447
Grenzwerthalbierung 453
Kostenabschätzung 458
Mehraufwand beim Energiebedarf 458

H

Haloclean-Pyrolyse 480
Handsortierung 175
Hart
-pellet 131
-stoffabscheider 565
Heizwertformel 212
heterogene Katalyse 523
Hochdruckflugstromvergasung 472, 474
Hochtemperaturfiltration 480
Holz
-vergasung 508
-vergasungstechnologie 513
Hydrocracken 524
Verfahren 512
Hydrolysat 547
Hydrolyse 544, 549
flüssige Einsatzstoffe im Festbett 555
offene, schwach aerobe 545
Verfahren 571
Verweilzeit 554

I

IMK-Verfahren 571
Import von Abfällen 9
Importschutzmaßnahmen
nationale 44
Industrie-Kraftwerke
für die Verwertung
von Ersatzbrennstoffen 273
Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.
(IUTA) 504, 523
ISKA-Verfahren 572
IUTA-Kombivergaser 505
IWBT 287

K

Kalkwerke 92
Kältefalleneffekte
lokale 242
Kaltlufttrocknung 179
Kalzinatorfeuerung 309
Kammwalzenzerkleinerer 165
Katalysator 523
Aktivitätsveränderungen 435
-regenerierung 437
-typen 432
-vergiftung 437
-waschung 437
katalytisch partielle Oxidation 523
katalytisch spaltende Hydrierung 523
katalytische Verfahren 523
Kesselbegehungen
im gereinigten Zustand 249
im verschmutzten Zustand 249
Klärschlamm 562
KLEAA 476
Klimaschutz 8, 31, 35, 70, 80
Klinikabfall 64
Klinkerfaktor 304
Kohlenwasserstoffe
kondensierbare 504
Kohlenwasserstoffspaltung
katalytische hydrierende 513
Kombivergaser 505
Korrosion 9, 223, 235, 259
korrosionsrelevante Elemente 236
Korrosions
-dynamik 247
-Früherkennung
bei Abfall-, Biomasse- und
EBS-Kraftwerken 235
-kenngrößen
belagsgestützte 240
-klassierung
des Brennstoffs und
des Anlagenbetriebs 240
-kontrolle
optische, mittels Schattenwurf 249
-minderung
durch Additive 253
-potentiale 236
Methoden zur Bewertung 239
-schutzkonzept 297
-schutzmaßnahmen 240
betriebliche 255
chemische 253
werkstoffliche 253
-ursachen 239
Kraft-Wärme-Kopplung 53

Kraftwerksfeuerungen
Einsatz von Biomasse 479
Krankenhausabfall 64
krebserzeugende Stoffe 28
Kreislauf
-berechnung 273, 284
-wirtschaft 28, 35
Kunststoff
-preise 174
-trenner 128
KWK-Gesetz
Sonderregelung für MVA
(Empfehlung des UBA) 32
KWK-Strom 32

L

Leichtverpackungen 177
LIFE-Environment 146
Lignozellulose 471

M

M-Pyrolyse 480
Maissilage 546
Märkische Entsorgungsanlagen-
Betriebsgesellschaft mbH 153
Marktwirtschaft
ökologische 40
Massenbilanzen
der Ersatzbrennstoffherstellung und
-verwertung 87
MBA-Anlagen
Abluftbehandlung 106
Betriebsprobleme 158
Deponiefraktion 109
Normen zur Untersuchung (A) 98
Outputströme 106
MBA
Kahlenberg 139
Massenbilanz 148
Schöneiche 154
Siggerwiesen 103
Vorketzin 155
MBA-Richtlinie (A) 99
MEAB 153
Methan
-ausbeute 546
-bakterien 547
-bildung
Prozessstabilität 547
-gasemissionen 36
-produktion 544
-reaktor 544
Methanisierung 544
Mineralstoffe
aus dem ZAK-Verfahren 145
Mitverbrennung
in Braunkohlekraftwerken 92
in Steinkohlekraftwerken 92
in der österreichischen
Zementindustrie 307
in der Türkei 64
Kapazitäten für Abfälle in Deutschland 30
MKT-Verfahren 411
Montanuniversität Leoben 109
Motortauglichkeit 520
MPS
Pankow 125
Reinickendorf 125
Massenbilanz 132
MPS-Anlagen 125
Betriebserfahrungen 136
Müllbunker 127, 295
Müllverbrennungsanlagen
s. Abfallverbrennungsanlagen
Multifunktionssiebtrommel 140
MVA
Aarhus 414
Amsterdam 224
Bilbao 228
Breisgau 383
Brescia 223
Flötzersteig 421, 426
Mainz 227
Spittelau 420, 422
Thun 384
Trondheim 383

N

$NaHCO_3$-Verfahren 451
Nahinfrarot-Technologie 128, 168, 175
Nassvergärung 542, 567
Vermeidung von Sedimentation und
Schwimmdeckenbildung 568
Nasswäsche 408
Natriumbicarbonat 387, 451
Natriumbicarbonat-Verfahren 390
Nebenprodukte
Abgrenzung zum Abfallbegriff 42
Netto
-Anlagenwirkungsgrad 50
-Zielenergie 50
New Integrated Desulfurisation 389

NID-Verfahren 389
Niedertemperatur
-Katalysatorlagen 428
-Tunneltrockner 171, 188
NIR 128, 176
-Trenner 168
NMT-Verfahren 179, 573

O

Öffentlichkeitsarbeit 7
Online-Kesselreinigung 259
Führungsgrößen 270
Österreich
MBA-Kapazitäten 101
mechanisch-biologische Abfallbehandlung 97
Mitverbrennung in der Zementindustrie 307
MVA- und MBA-Standorte 100
Oxidation
katalytische 429
katalytisch partielle 513, 523
thermisch regenerative 130, 159
Oxidationskatalysator 431

P

PAK 522
Partikelfracht des Abgases 242
Pelletierung 131
Pelletpressen 131
Perkolat 547
Perkolation 139
Perkolations
-flüssigkeit 547
-verfahren 571
Perkolatoren 142, 544
Premnitz 293
Prethane-Biopaq-Verfahren 571
Privatisierung 78
Produktgas
aus der Biomassevergasung 504, 511
Produktverantwortung 43
Provokationsfahrt 255
Pulpertechnologie 567
PVC-Trenner 128
Pyrolyse 520
mittelschnelle 480
Koksausbeuten 482
Pyrolysekoks 482
Pyrolyseprodukte
gewichtsbezogene Ausbeuteverteilung für verschiedene Biomassearten und Temperaturen 483

R

R1-Faktor 56
R1-Formel 230
Rankine-Prozess 287
RCP-Verfahren 376
Reaktionsfrontgeschwindigkeit 478
Recyclinggesellschaft 41
Reformierverfahren 512
Regenerativ-thermische Oxidation 130, 159
Regenerierung
Katalysatoren 437
Regionalprinzip 9
Rekommunalisierung 69
Ressourceneffizienz 37
Restabfallbehandlung
Brandenburger Weg 154
Restabfälle
Schadstoffgehalte 337
Restabfallvergärung 563
Probleme 562
Rohgaszusammensetzung
Einflussfaktoren 373, 380
Rohmehlfaktor 304
Rohölpreis 174
Rohstoffe
nachwachsende 503, 541
Rohstoffeffizienz 37
Röntgentechnik 175
Rost
wassergekühlter 230, 293, 296, 375
Rostfeuerungen 375, 448, 457
Rotationszyklon 130
RTO 130, 159
Rückstromwirbler 389

S

Saatstrom 470
-Verfahren
zur dezentralen Biomasseverstromung 480
Schadstoff
-abscheidung

Nutzen und Verhältnismäßigkeit der Absenkung von Grenzwerten 446
-bildung 373
-bindungsform 380
-entnahme 141
-freisetzung 373, 381
-gehalte
in Restabfällen 337
in Ersatzbrennstoffen 341
-verteilung
Zielkonflikt 381
Schlackenaufbereitung 34
Schlackenbeton 428
Schnellpyrolyse 471
Schottenverdampfer 297
Schüttkegel
von Ersatzbrennstoff 295
Schwachholz 503
Schwefel 404
anorganisch gebundener 379
organisch gebundener 379
Bindungsform 376
Transfer ins Abgas 376
Schwefelwasserstoff 542
Schwermetallemissionen
aus der Zementindustrie 322
Schwimmschichtbildung 542
in Vergärungsanlagen 559
SCR-Verfahren 420
SCS-System 297
Sedimentationsgefüge 244
Sekundärbrennstoffproduktionsanlage 93
Semi-Trockenvergärung 542
SiC 297
Sichtung 130
Siebung 116
Siedlungs- und Gewerbeabfälle
Entwicklung des Abfallaufkommens 72
Siedlungsabfalldeponien 33
Slurry 471
-vergasung 471, 474
Sonderabfall
-importe 9
-verbrennungsanlage Izmit 64
Sorbensbehandlung 393
Sortierung 176
automatische 175
optische 176
Restabfall-LVP-Gemisch 177
Spaltung
höhermolekularer
Kohlenwasserstoffe 512
katalytisch hydrierende 513
Sperrmüll
Aufbereitung 162
Massenbilanz 163
Baggervorsortierung 164
Korngrößenverteilung ausgewählter Stoffgruppen 165
manuelle Sortierung 163, 166
Rohstoffquelle für die energetische Nutzung als Biomasse 161
sensorgestützte Sortierung 163, 167
Vorbehandlungsverfahren 163
Zusammensetzung 162
Spreader-Stoker-Systeme 475
Sprühabsorber
mit Schlauchfilter 388
Sprühabsorption 388, 408, 450
Stabilisierung
mechanisch-biologische 91, 105, 180
mechanisch-physikalische 125
Stand der Technik
bestverfügbarer 446
Standortplanung
für ein Industrie-Kraftwerk 288
Staub
Austrag aus der Feuerung 379
Emissionen der Zementindustrie 320
Stickoxide
Abscheidung 433
Bildung 373
Stofftrennung 115, 144
Modellierung verschiedener Varianten 115
Störstoffabscheidung
bei Vergärungsverfahren 564
Strohheizkraftwerk 493
Stromausbeute 52
Substitutionsgrad
in der österreichischen Zementindustrie 309
Synfuel 484
Synthesegas
-ausbeute 474
-erzeugung 472, 474

T

Taupunktabstand 392
Technische Universität Braunschweig 287
Technische Universität Dresden 521
Teer 504, 521
-gehalt 522
-mengen 528

-problem 505
Teppichreste 293
Thermo-Mechanische-Zelllyse 574
Tiefbunker 127
Tiermehl 373
-verbrennung
Bildung von NO_x 374
Transferfaktoren 342
Transferkoeffizienten 236
Treibhausgas
-emissionen 146
-problematik
Zementindustrie 326
Trennergebnis 187
Trockensorption 387, 408
konditionierte 388, 450
Flexibilität und Aufwand
für Regelung 400
Investitions- und Betriebsmittelkosten 397
Leistungsfähigkeit 393
Service und Instandhaltung 400
Trockenstabilat
-anlagen 181
-verfahren 91, 105, 180
Trockentrommel 129
Trockenvergärung 543, 564
Entwicklung 565
Trocknung 129, 179
biologische 105, 143
thermische 129, 181
zur optimierten Wertstoffgewinnung 187
Trocknungstunnel 144
Trommeltrockner 181
Turbosorb 389
Türkei 61
abfallwirtschaftliche Daten 63
abfallwirtschaftliche Strategien 64
Investitionsbedarf 61
nationaler Abfallwirtschaftsplan 66

U

Umweltbundesamt 32
Umweltpolitik 35

V

Valorga-Verfahren 564
Verbandsformel 212
Verbrennungs
-eigenschaften 479
-kapazitäten 6
-luft 335
-motor 522
Verdampfungskühler
mit Schlauchfilter 389
Verfügbarkeit 448
Vergärung 559
des organikreichen Wassers 142
energetischer Wirkungsgrad 560
mechanische Vorbehandlung 563
nachwachsender Rohstoffe 542
Schwimmschichten 542, 559
Störstoffabtrennung 559, 564
Waschverfahren 570
Vergärungsverfahren 559
nasse 567
trockene 564
Entwicklung der Technologie 561
Vergaser 487
Vergasung 487, 520
von Biomasse 504, 520
Verpackungen
Energiebedarf bei der Produktion 173
Verpackungsverordnung
Novellierung 40
Verwerterstatus
für moderne, leistungsfähige MVA 34
Verwertung
(werk)stoffliche versus energetische 173
stoffliche 29
vollständige 33, 38
Verwertung und Beseitigung
Abgrenzung 43, 47

W

WAASA-Verfahren 569
WABIO-Verfahren 567, 570
Waldrestholz 503
Wärme
-abnahme 33
-ausbeute 53
-durchgang 260
-netz
Kosten für den Ausbau 31
-nutzwirkungsgrad 54
-stromdichte 260
-stromdichtemessung 247, 259
Dynamik 263
Entwicklung einer nicht invasiven
Messtechnik 263
-stromsensor 247
-verluste 259
-verschiebesystem 425
Reinigung 442

Warmlufttrocknung 180
Waschverfahren
  zur Vergärung 570
Wasserkühlung
  des Rostbelags 230, 293, 296, 375
Weichpellet 131
Werkstoff-Testfelder 251
Werkstoffselektion
  vorausschauende 253
Wertstoffgewinnung
  optimierte 171
Windsichter 128, 130
Wirbelbett 374
Wirbelschichtfeuerung 448
  zirkulierende 293, 373, 487
Wirkungsgrad 49, 222
  elektrischer 52
    Steigerung 223
  energetischer
    der Vergärung 560
Wurfbeschicker 475

Z

ZAK-Verfahren 139, 572
  Ersatzbrennstofffraktionen 145
  Massenbilanz 148
  Verwertungsquote 149
Zementindustrie 92
  österreichische
    Einsatz von Ersatzbrennstoffen 308
    Einsatz von Ersatzrohstoffen 312
    Einsatz von Ersatzzumahlstoffen 314
    Kohlendioxidemissionen 327
    Produktionsmengen 304
    Werke und Standorte 300
Zementverordnung (A) 319
Zerkleinerung 116
Ziel 2020 33, 38
Zielenergie 50
Zumahlstoffe
  sekundäre 314
Zündstrahl-Dieselmotor 480
Zweckverband Abfallbehandlung
    Kahlenberg (ZAK) 139
Zwischenlager 6
Zwischenüberhitzung 224, 227