Stephanie Thiel
Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Peter Quicker
Alexander Gosten



Energie aus Abfall

Band 15

TK

Stephanie Thiel
Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Peter Quicker
Alexander Gosten

Energie aus Abfall

Band 15

TK

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.dnb.de abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Alexander Gosten (Hrsg.):

Energie aus Abfall, Band 15

ISBN 978-3-944310-39-8 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Olaf Holm
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Janin Burbott-Seidel, Claudia Naumann-Deppe, Cordula Müller, Anne Kuhlo, Gabi Spiegel
Druck: Universal Medien 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

Aktuelle Entwicklungen – Abfallmarkt im Wandel

Zero Waste
Peter Quicker 3

Die ersten Stufen der Abfallhierarchie
– Abfallvermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung –
Henning Wilts, Jana Nicolas, Laura Galinski und Dorothee Gangnus 17

Industrie 4.0 für die Abfallwirtschaft
– Geschäftsmodelle –
Tobias Faber und Johannes Groß 35

Cradle to Cradle und Circular Economy
– Digitalisierung – Das Ende der Abfallwirtschaft –
Michael Braungart 53

Recycling-Quotenzauber –
Schaffen wir in Deutschland die europäischen Recyclingziele?
Thomas Obermeier und Sylvia Lehmann 59

Energie aus Abfall im Spannungsfeld von Energiepolitik und Wirtschaftlichkeit
Martin Brunner 81

Aktuelle Situation der Thermischen Abfallbehandlung
in Deutschland vor dem Hintergrund der nationalen und europäischen Entwicklungen
Carsten Spohn 91

Waste-to-Energy-Markt in Deutschland bis 2030
Sabine Flamme, Jörg Hanewinkel, Peter Quicker und Kathrin Weber 103

Waste-to-Energy-Markt in Deutschland vor dem nächsten Schweinezyklus?
Dirk Briese und Jens Gatena 121

Neubau von Anlagen

Langfristige Gewährleistung der Entsorgungssicherheit in der Freien und Hansestadt Hamburg – Zentrum für Ressourcen und Energie –
Heinz-Gerd Aschhoff, Jens Niestroj, Ronja Grumbrecht und Rüdiger Siechau 135

Erfahrung bei Planung, Bau und Betrieb der MVA Krakau und Pläne für neue Anlagen in Polen angesichts der Voraussetzungen der Circular Economy
Jakub Bator, Tadeusz Pająk und Andreas Salamon 157

Bau einer Verbrennungslinie in Delfzijl auf Basis des EEW-Referenzmodells
Harm-Peter Büchner 183

Designed to Build – Anlagendesign für die sichere und effiziente Abwicklung eines Großprojekts
Andres Kronenberg 199

Optimierung und Betrieb von Anlagen

Aktueller Sachstand zur Revision des BVT-Merkblatts Abfallverbrennung
Markus Gleis 215

Integrierte Feuerungskonzepte zur Effizienzsteigerung und Emissionsreduktion
Martin J. Murer und Robert von Raven 227

Stickoxidminderung durch oszillatorische Verbrennung bei der Rostfeuerung
Hans-Joachim Gehrmann, Daniela Baris, Dieter Stapf, Helmut Seifert und Ingo Zorbach 243

Betriebserfahrungen mit O_2-Gehalt im Abgas unter 4,5 Prozent – Auswirkungen auf die Stabilität der Verbrennung, CO-Spitzen und Korrosion –
Maurice H. Waldner und Barbora Malisova 255

Mobile Instandhaltung in der Industrie
Jorge Rivero 271

Adapting for the Future: Bringing New Life to Industrial Steam Turbines in Changing Markets
Dariusz Knitter 291

Betrieb von Power-to-Heat-Anlagen und Möglichkeiten zur Vermarktung
Christoph Pieper, Simon Unz und Michael Beckmann 299

CO_2-Abscheidung hinter Abfallverbrennungsanlagen und Weiterverarbeitung zu Kraftstoffen
Torsten Buddenberg und Christian Bergins 315

Korrosion und Werkstoffe

Effizienzsteigerung durch Einbindung thermochemischer Prozessparameter
Marie Kaiser, Joos Brell, Dominik Molitor und Dominik Schneider 333

Effizienzsteigerung durch modellbasierte Betriebsdatenanalyse
Martin Pohl und Tao Wen 345

Online-Messung der abgasseitigen Korrosion in Feuerungsanlagen
Bernd Epple, Andreas Müller und Coskun Yildiz 359

VOKos – Effizienzsteigerung durch verfahrenstechnisch optimierende Korrosionsschutzkonzepte in Verbrennungsanlagen mit heterogenen Festbrennstoffen
Ragnar Warnecke, Florian Grafmans, Ferdinand Haider, Daniel Ott, Sebastian Pentz, Viktor Scherer, Siegmar Wirtz, Frank Wissing, Stefan Haep, Christof Asbach, Stefan Schumacher, Til van der Zwaag, Hermann Nordsieck,Martin Zwiellehner, Mathias Galetz, Ludmilla Krumm, Martin Weghaus und Bernd Benker 373

Strahlungsüberhitzer – von der Testinstallation zum kommerziellen Produkt
Toralf Weber und Daniel Böck 403

Neue Feuerfestkonzepte für flexible Betriebsweisen in der Abfallverbrennung – Ein Überblick –
Manfred Möller und Markus Horn 419

Neue Wege durch den 3D-Druck von keramischen Werkstoffen
Arash Rashidi, Oswin Öttinger und Andreas Kienzle 439

Technischer Stand beim Schweißplattieren
– Die Schweißplattierung im Spannungsfeld zwischen Investment und Lebensdauer –
Arne Manzke..... 455

Laserbeschichten – Potenzial und Perspektiven
dieser neuen Technologie zum Schutz gegen Abnutzung
und Korrosion in Abfall- und Biomasse-Verbrennungsanlagen
Gary R. Heath 483

Fünfzehn Jahre Betriebserfahrungen mit der Dickschichtvernickelung
Ralf Senff-Wollenberg, Johann-Wilhelm Ansey und Frank Reinmöller 501

Erste Erfahrung mit der Anwendung von Heizflächen-Beschichtungen
aus der kohlebasierten Energieerzeugung in WtE-Anlagen
Andreas Salamon, Andrzej Gruszka und Aleksander Iwaniak..... 511

Abgasbehandlung

Emissionsfaktoren aus der Abfallverbrennung
Heinz-Ulrich Singer und Markus Wieduwilt 531

Nachrüstung bestehender SNCR-Anlagen für Abfallverbrennungsanlagen
zur Einhaltung der neuen BREF-Emissionsgrenzen gemäß IED
Bernd von der Heide..... 545

Potentiale einer genauen, hochauflösenden Temperaturmessung
für die Korrektur der Feuerraumtemperaturen und Verbesserung der SNCR-Eindüsung
Manfred Deuster, Matthias Ritter und Hans-Paul Drescher 559

Plattformbasierende Monitoring-Tools zur Optimierung der Entstickung
Philip Reynolds..... 571

MinPlus, ein Additiv für verschiedene Anwendungen in der Abfallverbrennung
Frank Nachtsheim 583

Klärschlammbehandlung

Klärschlammbehandlung
– Anforderungen der novellierten Klärschlammverordnung
und der geänderten Düngemittelverordnung –
Andrea Versteyl 597

Mengenmodell zur zukünftigen Klärschlamm-Entsorgung in Deutschland
Mark Döing und Janne Heumer 611

Expansive Unternehmensstrategien im Segment der thermischen Abfallverwertung
– Beispiel Klärschlammverbrennung –
Manfred Becker 625

Einbindung der Klärschlammtrocknung in andere Infrastruktur- und Industriekomplexe
– Beispiel MVA, Zementherstellung und Fernwärmebereitstellung –
Alexander Kuppe und Jürgen Geyer 637

Hydrothermale Karbonisierung – HTC-Verfahren
Dennis Blöhse 649

Methoden und Verfahren der Klärschlammbehandlung
Christoph Ponak, Stefan Windisch, Harald Raupenstrauch
und Andreas Schönberg 669

Verfahren und Produkte der Phosphor-Rückgewinnung
Andreas Schönberg, Harald Raupenstrauch und Christoph Ponak 679

Betriebserfahrungen mit Schlammverwertungsanlagen
in Zürich/Schweiz und Çorlu/Türkei
Ralf Decker, Dieter Müller und Stefan Krech 693

From Small to World Largest
– Klärschlammverbrennungsanlagen auf der Insel Rügen und in Hong Kong –
Jörn Franck 719

Abgasreinigung hinter Klärschlammverbrennungsanlagen
– was wird funktionieren und was funktioniert nicht –
Rudi Karpf und Andreas Wiedl 733

Mitverbrennung in Zementwerken

Wie reagieren die Zementwerksbetreiber auf die novellierte Klärschlammverordnung?
Erwin Schmidl 751

Differenzierung der energetischen Verwertung am Kriterium der Energieeffizienz
Stefan Vodegel, Milan Davidovic und Alexander Ludewig 761

Altholz

Effizienzsteigerung eines Altholzkraftwerkes durch den Einsatz eines neuartigen Wärmetauschers – ein Beispiel aus der Praxis –
Robert Böttcher und Dieter Uffmann 771

Potenziale der Kombination von IR-Thermographie und Fluidsimulation im Zuge der Flexibilisierung des Anlagenbetriebes von Altholz befeuerten Dampferzeugern
Uwe Schneider, Martin Woite, Andreas Böffel, Christian Gierend und Marcus Vogeler 781

Gefährliche Abfälle

Anpassung der Sonderabfallverbrennungsanlagen an veränderte Marktbedingungen
Andreas Neuss 799

Das BVT-Merkblatt *Abfallverbrennung* aus Sicht der Sonderabfallverbrennung
Benjamin Wiechmann 821

Dank 835

Autorenverzeichnis 839

Inserentenverzeichnis 868

Schlagwortverzeichnis 877

Aktuelle Entwicklungen – Abfallmarkt im Wandel

Zero Waste

Peter Quicker

1. Einleitung 4

1.1. Recycling 5

1.2. Behandlung von Restabfällen 6

2. Möglichkeiten und Grenzen der Abfallwirtschaft 7

2.1. Recycling 7

2.1.1. Sortenreine Erfassung 7

2.1.2. Produktdesign und Produktverantwortung 8

2.1.3. Schadstoffsenke versus Recycling 11

2.2. Behandlung von Restabfällen 11

2.2.1. Vermeidung von Restabfällen 11

2.2.2. Alternative Verfahren zur Verwertung von Restabfällen 12

3. Fazit 13

4. Literatur 14

Zero Waste ist das abfallwirtschaftliche Schlagwort der Stunde. Google zeigt 15,9 Millionen Treffer, Tendenz stark steigend. Weltweit gehen Umweltverbände, Politiker und Gutbürger mit Zero Waste Phantasien hausieren. Selbst Länder deren Abfallwirtschaften noch mittelalterliche Züge tragen, schreiben sich den Slogan munter in die Agenda und ignorieren die Realität.

Eine Gesellschaft ohne Abfall wird es aber nicht geben, solang der Mensch diesen Planeten besiedelt und die Entropie nicht abgeschafft wird.

Nur sehr wenige Stoffströme (z.B. Glas, Metall) sind dauerhaft rezyklierbar. Viele andere Materialen – bekanntestes Beispiel ist das Papier – erfahren beim Recyclingprozess eine Qualitätsminderung, sodass früher oder später eine Ausschleusung und Entsorgung erfolgen muss. Es entstehen also beim Recycling immer auch solche Abfälle, die stofflich nicht mehr weiter nutzbar sind und thermisch behandelt werden müssen.

Restabfälle, die der thermischen Behandlung zugeführt werden müssen, fallen auch in den Haushalten und Betrieben an. Besondere Beachtung ist dabei schadstoffhaltigen Stoffströmen zu schenken, die dem Stoffkreislauf entzogen werden müssen. Einzige praktikable Option hierzu ist die Abfallverbrennung.

Alternative thermische Verfahren, die die Gewinnung hochwertiger Produkte (Treibstoffe, Syngas usw.) aus dem Restabfall ermöglichen sollen, konnten, trotz großer Hoffnungen und noch größerer Versprechungen, ihre Funktionalität für die Behandlung von Restabfällen bis heute nicht nachweisen und sich daher nicht als Alternative zur MVA etablieren. Da die Gesetze der Physik und Chemie Bestand haben, wird sich daran auch in Zukunft nichts ändern.

Als Fazit ist festzuhalten, dass eine funktionierende Abfallwirtschaft neben stoffstromspezifischen Recyclingverfahren für idealerweise separat erfasste Materialien auch immer über Senken für schadstoffhaltige und/oder nicht mehr anderweitig verwertbare Abfälle verfügen muss. Organische Reststoffe sind thermisch zu inertisieren, die verbleibenden anorganischen Reststoffe dauerhaft sicher abzulagern.

Die moderne Abfallwirtschaft ist also ein Dreiklang:
Recycling – Verbrennung – Ablagerung

1. Einleitung

Zero Waste, also eine Gesellschaft ohne Abfall, ist eine Utopie. Der Gedanke, völlig ohne die Erzeugung von Restabfall zu existieren und alle genutzten Stoffe und Materialien im Kreislauf zu führen fasziniert, ist aber heute und auch in Zukunft nicht zu erreichen. Warum dies so ist, warum selbst die perfekte Abfalltrennung hier nur begrenzt weiterhelfen kann und warum eine hundert-prozentige Kreislaufführung gar nicht wünschenswert ist, sollen die folgenden Zeilen erläutern.

Einführend wird zunächst der grundsätzliche Aufbau der Abfallwirtschaft skizziert um vor diesem Hintergrund die Möglichkeiten und Grenzen zur Kreislaufführung und damit zur Abfallminimierung abzuleiten. Der Fokus dieses Beitrags liegt dabei auf den Siedlungsabfällen.

Bild 1 zeigt die in Deutschland von 1995 bis 2012 eingesetzten Verfahren zur Behandlung von Abfällen. Während in den neunziger Jahren die Deponierung noch die vorherrschende Entsorgungsmethode für Siedlungsabfälle darstellte, wird heute unbehandelter Siedlungsabfall gar nicht mehr deponiert. Es stehen folglich nur noch zwei Entsorgungswege für Abfälle zur Verfügung: die stoffliche Verwertung von getrennt gesammelten Wertstoffen, inklusive der separat erfassten organischen Abfälle, sowie die energetische Verwertung von gemischten Restabfällen (graue Tonne) bzw. anderen Stoffströmen, die stofflich nicht mehr nutzbar sind, wie z.B. Sortierreste aus der Abfallaufbereitung (gelber Sack, Sperrmüll).

Selbstverständlich werden mineralische Abfälle, die anderweitig nicht mehr genutzt werden können, nach wie vor deponiert. Diese tauchen in der Statistik über die Behandlungsanlagen jedoch nicht mehr auf, da die Erhebung Input-bezogen ausgewertet wird, d.h. ein Abfall der an eine Anlage angeliefert wird, gilt automatisch zu hundert Prozent als verwertet bzw. behandelt. Dieses Vorgehen soll in Zukunft angepasst werden.

Entsprechend den beiden grundsätzlichen Möglichkeiten zur Abfallbehandlung wird im Folgenden zwischen – in der Regel – getrennt erfassten, relativ sortenreinen Abfällen mit hohem Recyclingpotenzial und den gemischten Restabfällen unterschieden.

Während Erstere im Regelfall eine stoffliche Verwertung mit entsprechend werthaltigen Produkten erlauben, bleibt für gemischte Restabfälle als einzig sinnvoller Weg die thermische Behandlung. Dabei wird auch die Rückgewinnung von Wertstoffen, insbesondere von Metallen und mineralischen Fraktionen, aber auch von Produkten aus der Abgasreinigung – Gips, Salzsäure, inzwischen sogar Zink – praktiziert.

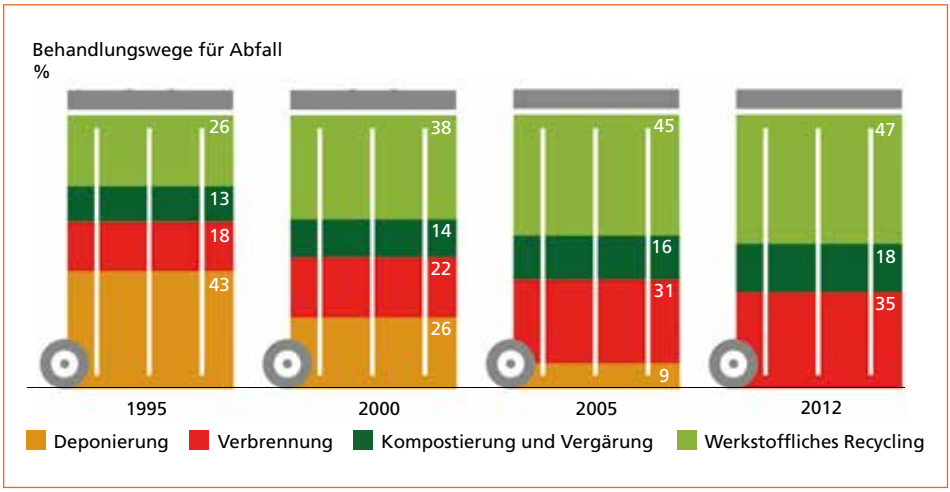


Bild 1: Behandlungswege für Abfall in Deutschland 1995 bis 2012

Quelle: Öko-Institut: Grafik zu den Verwertungswegen von Siedlungsabfall in Deutschland. (2014) Download: www.flickr.com/photos/oekoinstitut/13949483739

1.1. Recycling

Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling und insbesondere die erfolgreiche Vermarktung der erzeugten Produkte, ist die getrennte und möglichst sortenreine Erfassung der Wertstoffe am Ort der Entstehung, also in den Haushalten, Betrieben und öffentlichen Einrichtungen. Trotz der regional sehr unterschiedlichen Organisation ist es in Deutschland (annähernd) flächendeckend üblich, die folgenden, massenmäßig relevanten Stoffströme (über Bring- oder Hohlsysteme) getrennt zu erfassen:

- Glas (weiß, grün, braun),
- Papier,
- Kunststoffe und Metalle als Verpackungsabfälle,
- Bioabfälle.

Daneben gibt es eine Vielzahl weiterer Stoffgruppen – Elektroschrottfraktionen, Alttextilien, Batterien, Sonderabfälle usw., die über kommunale Wertstoffhöfe ebenfalls separat erfasst werden.

Schlagwortverzeichnis

A

Abfahren/Anfahren 537
Abfallaufkommen
  in Deutschland 93
Abfälle
  gefährliche 799
Abfallerfassung
  sortenreine 7
Abfallhandelsplattformen 46
Abfallhierarchie
  erste Stufen 17
Abfallimporte 93, 130
Abfallpaket 59
Abfallströme
  in Deutschland 106
  in Deutschland 2030 111
Abfallverbrennungsanlagen
  Anlagenpark und Behandlungskapazitäten
    in Deutschland 91
  Kombination
    mit Klärschlammtrocknung 644
Abfallvermeidung 11, 17
Abfallvermeidungsprogramme
  nationale 17
Abfallwirtschaft
  materialorientierte 19
  Möglichkeiten und Grenzen 7
  produktzentrische 19
Abgaskühlung 775
  selektive 548
Abgasreinigung hinter
    Klärschlammverbrennungsanlagen 733
Abgasrezirkulation 233
Abgaswärmetauscher 771
Abnutzung 483
Abzehrung 498, 511
Abzehrraten 266
Altholzkraftwerk
  Effizienzsteigerung 771
Ammoniakwasser
  oder Harnstofflösung 553
Anbackungen 407
Anfahren 537
Anlagenbauer
  Herausforderungen 199
Anlagendesign 199
Anlagenverfügbarkeit 174
Anlagenwirkungsgrad 373
Arbeitssicherheit 209
ASC-Verfahren 232
Augmented Reality 283
Ausbrand
  der Schlacke 257
  der Abgase
    Verbesserung durch Änderung
      der Luftführung 808
Ausnahmemanagement 280

B

Barcoding 285
BAT-AEL 217
BAT-Schlussfolgerungen 221
Bauunterlieferanten 204
Belagsbildung 592
Betriebsdatenanalyse
  modellbasierte 345
Betriebsführung 333
Betriebszustände
  besondere 537
Bettaustragssystem 713
Biegefähigkeit 493
Biegeprüfverfahren 494
Big Data 38
Bildverarbeitung
  video- und infrarotbasierte 782
Binder-Jetting-Verfahren 443
Biogasaufbereitung 148
Biokraftstoff 317
Biomasseheizkraftwerk 149, 771, 781
Bodenqualitätsvorsorge 598
Brennbett 382
Brennstoffwärmeleistung 379
Brown-Field-Projekte 184
Budenheimer ExtraPhos-Verfahren 758
BVT-Merkblatt Abfallverbrennung 215, 821
BVT-Schlussfolgerungen
  nationale Umsetzung 224

C

Carbon Capture and Utilisation 327
Circular Economy 53, 175
Cladding 512
Cloud 287
CMT-Schweißtechnik 465
CO_2-Abscheidung
  Weiterverarbeitung zu Kraftstoffen 315
CO_2-Intensität
  im Verkehrssektor 321

CO-Emissionen 259
CO-Spitzen 262
Cold Metal Transfer 458
Computational Fluid Dynamics (CFD) 791
Cradle to Cradle 53
Cybersicherheit 48, 278

D

Dampfturbine 291
Datenbanken
  online und offline 284
Design for Repair 33
Dickschichtvernickelung 501
  galvanische 502
Digitalisierung 55
  der Energiewirtschaft 36
  der Inbetriebnahme 279
Dokumentation
  Qualität 281
Downcycling 55
Drohne 435
Düngemittelverordnung 597, 611, 626
Düngeverordnung 611, 626

E

Einzellanzenumschaltung 548
Elektrizitätsmarkt 318
Elektrodenkessel 304
Elektroströmungserhitzer 303
Emissionen
  während Sonderbetriebszuständen 539
Emissionsbandbreiten 222
Emissionsfaktoren
  aus der Abfallverbrennung 531
Emissionsinformationssystem
  der Schweiz 533
Energieausnutzung
  Einfluss der Brennstoffqualität 765
Energieaustauschverhältnis
  im Zementwerk 766
Energiebereitstellung aus Abfall
  in Deutschland 109
  in Deutschland 2030 115
Energieeffizienz 97, 761
  Performance-Bandbreiten
    von Abfallverbrennungsanlagen 222
Energiemarkt
  Umbruch 81
Energiepolitik 81
Energiespeicherung
  sektorenübergreifende 318
Energiesysteme
  integrierte 83
Energieverbund 645
Energieversorgung
  steigende Komplexität 82
Entschwefelungsgrad 744
Entsorgungspreise
  Entwicklung 129
Entsorgungssicherheit 135
Entstickung 545, 559, 571
  App 574
  Optimierung 571
Entwässerung 650
Erosion 457
Ersatzbrennstoffe
  in Zementwerken 766
Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk 151
EU-Energiepolitik 316
ExtraPhos-Verfahren 757

F

Fällung
  chemische 685
Farbeindringprüfung 473, 493
Fernwärme 816
  Transportleitung Renergia – Emmen 86
Fernwärmesystem 84
  Kopenhagen 87
Fernwärmeversorgung in Kombination
  mit Klärschlammtrocknung 646
Feuerfestsysteme 411
  Anfahren 422
  für flexible Betriebsweisen 419
Feuerführung 334
Feuerlageregelung
  automatisierte 566
Feuerleistungsregelung 786
Feuerraumkamera 784
Feuerraumtemperaturen
  Korrektur 559
Feuerung 334
Feuerungskonzepte
  integrierte 227
Feuerungsmodell 391
Feuerungsregelung 785
Fictive Electrical Efficiency 764
Flammspritzen 467
Flexibilisierung 781
  der Anlagenfahrweise 782

Fluidsimulation 781
Fluorpolymer 778
Frischdampfparameter
  Anhebung 234

G

Gebrauchtwarenhandel 23
Gewerbeabfallverordnung
  Novelle 124
Green-Field-Projekte 184
Großprojekt
  Abwicklung 199
Großwärmepumpe 304

H

Hamburg 135
Harnstofflösung 553
Hausmüllbehandlung 142
Heizflächen-Beschichtungen
  aus kohlebasierter Energieerzeugung 511
Heizwert 379
Hochleistungsdiodenlaser 491
Hochtemperatur-Chlorkorrosion 373
Hochtemperatur-Korrosion 359, 374, 488
Hochtemperaturverbrennung 799
Hochtemperaturwärmepumpen 319
HTC-Verfahren 649
Hydrothermale Karbonisierung 649

I

Inbetriebnahme 170, 699, 712
  Digitalisierung 279
Industrie 4.0
  für die Abfallwirtschaft 35
    Geschäftsmodelle 38
Industrieroboter 527
  bei Laserbeschichtung 515
Inspektion 281
Inspektionsdrohne 434
Instandhaltung 272, 333
  mobile 271
Internet of Things 35
Ionenaustauscher-Verfahren 686
IoT-Dienstleister 37
IR-Thermographie 781
IT-Sicherheit 574

K

Kalibrierung 281
Karbonisierung
  hydrothermale 649
Katalysatorenträger
  3D gedruckte und
    mit Harz imprägnierte 451
Keramikbeschichtung 497
keramische Werkstoffe
  3D Druck 439
Kesselanbackungen 714
Kesselmodell 391
Kesselschaden 702
Kesselverrohrungs-Schwund
  Reduzierung 487
Kesselwirkungsgrade 765
Klärschlamm 681
  als Düngemittel 614
  Aufkommen und Verwertung 613
  Behandlungsverfahren 669
  bodenbezogene Verwertung 604
  Entsorgung
    in Deutschland 611
    nach Bundesland 614
  Faulung 722
  Förderung 700
  landschaftsbauliche Verwertung 606, 615
  Mitverbrennung 615
    in Abfallverbrennungsanlagen 619
    in Kohlekraftwerken 616
    in Zementwerken 619, 672, 754
  Monoverbrennung 615, 640, 671
    Abgasreinigungsanlagen 734
    Hong Kong 719
    Insel Rügen 719
    Zürich 694
  Trocknung 671
    Einbindung in andere Infrastruktur- und
      Industriekomplexe 637
    Verfahren 638
  Verbrennung 625
    Kapazitäten in Deutschland 641
  Vererdung 615, 670
Klärschlammaschen 681
Klärschlammerde 670
Klärschlammverordnung
    597, 611, 626, 673, 753
Klimarelevanz
  der thermischen Abfallbehandlung 98
Kohlekraftwerke 616
  Mitverbrennung 130, 616
  volatiler Anlagenbetrieb 619
Kohlenstoffmaterialien
  3D gedruckte, silizierte 446

Kontakttrocknung 639
Konvektionstrocknung 638
Korrosion 263, 334, 380, 412, 457, 483
  Online-Messung 359
Korrosionsdynamik 335
Korrosionsleitwerte 374
Korrosionsminderung 335, 501
Korrosionsmodell 374
Korrosionsmonitoring 374
Korrosionsrate 367
Korrosionsschichtaufbau 393
Korrosionssensoren 363
Korrosionssonde 387
Kraftstoffe
  auf Methanol basierende 326
  erneuerbare 316
Kreislaufwirtschaftspaket 59
Kristallisationsverfahren 685

L

Laserbeschichtung 483, 515, 522
Lepol-Öfen 755
Life Cycle Management 423
LPR-Verfahren
  (Linear Polarisation Resistance) 362
Luftstufung 244
Luftzahl 227

M

Magnetseparator-Verfahren 687
Mehrfach-Luftstufung 237
Membransonde 385
Membranwandsensor 363
Messlanze 383
Methanol-Kraftstoff 319
MIG/MAG-Schweißverfahren 457
Mitverbrennung
  in Kohlekraftwerken 130
Modularisierung
  von Prozesskomponenten 204
Monitoring
  plattformbasierendes 571
Mono-Klärschlammverbrennung
  615, 640, 671, 694, 719
  Abgasreinigung 734
Must-Run-Anlagen 328
MVA
  Bonn 583, 628
  Delfzijl 183
  Ferrybridge Multifuel 1 201
  Ferrybridge Multifuel 2 200
  Kopenhagen (Amager Bakke) 88
  Krakau 157
  Luzern (Renergia) 85, 256
  Warschau 178

N

Netzabdeckung 276
Netzengpässe 308
NH_3-Schlupf 580
Niedertemperatur-Bandtrockner 775
Normal Operating Conditions (NOC) 217
NO_x-Management 577

O

O_2-Gehalt im Abgas
  Betriebserfahrungen unter 4,5 % 255
Obsoleszenz
  geplante 28
Online-Kesselreinigung 334, 816
Online-Signal
  zur Steuerung von Prozessen 334
Other Than Normal Operating Conditions
  (OTNOC) 217

P

Papierschlamm 630
Partikelfreisetzung und -niederschlag 377
Patentanalysen 29
Pay-per-use Modelle 45
P-bac-Verfahren 676
Phosphor
  biologisch gebundener 680
  chemisch gebundener 680
  gelöster 680
Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm
  599, 611, 621, 657, 669, 679, 757
  Pflicht 599
  Produkte 687
  REACH 675
  technische Anforderungen 602
  Übergangsfristen 674
  Verfahren 660, 689
    Bewertung 674, 689

Plattensystem
hinterlüftetes 411, 424
Polen
Heizflächen-Beschichtungen 512
neue MVA 157
Polymere
biologisch abbaubare 608
synthetische 608
Portlandzementklinker 752
Power-to-Fuel
im Vergleich zu Biokraftstoffen 327
Power-to-Heat
Anlagen 299
Technologien
Übersicht 301
Vermarktungsoptionen 306
Power-to-Methanol 319
Power-to-X 318
Predictive Maintenance 43
Produktdesign 8, 28, 57
Produktverantwortung 8
Prozessanalyse
modellbasierte 346
Prozessassistenz- und Analysesystem
modellbasiertes 354
Prozessparameter
thermochemische 333
Pseudorecycling 55
Pyrometer 335

Q

Quecksilber-Abscheidung
in Nasswäschern 738
in Trockensorptionsanlagen 741
Quecksilber-Emissionen
in der chemischen Industrie 828
Quecksilber-Rohgasmessung 830
Quecksilber-Rückhaltung 807

R

R1-Kriterium 764
REACH 675
Reaktionsfrontgeschwindigkeiten 248
RecoPhos-Verfahren 676
Recycling 5
Recyclingquoten 60, 102
neue Berechnungsmethode 66
Recyclingziele 59
Redispatch 299
Reduktionsmittel
gezielte Dosierung 580
Regelenergie 306, 782
Regelung 334
Reisezeit
Verlängerung 333
Reparaturnetzwerke 22
Reparierbarkeit
von Produkten 28
Ressourceneffizienz 97
ReUse
Maßnahmen 21
Netzwerke 22
Rost 783
wassergekühlter 192
Rostkühlung 784
Rostvorwärmer 755

S

Salzschmelzen 411
Salzschmelzenkorrosion 267
Sauerstoffgehalt im Abgas
Betriebserfahrungen mit unter 4,5 % 255
Sauerstoffüberschuss 227
Säureaufschlussverfahren 685
Säuretaupunkt 771
Schadstoffentfrachtung 800
Schadstoffsenke 11
Schieflagen 335
Schlacke-Ausbrand 257
Schnellaufheizbetone 432
Schrägrost
wassergekühlter 784
Schutzbeschichtungen 511
Schweinezyklus 128
Schweinfurter Korrosionsdiagramm 396
Schweißbrennereffekt 267
Schweißplattierung 455 , 512
Schweißposition 460
Sekundärdünger
Bewertungsmethode 688
Sekundärluftstufung 791
Sekundärluftzufuhr
oszillierende 253
Service Level Agreement 46

Sevilla-Prozess 215
SiC-Beton 412
Sicherheit
des WLAN-Netzes 277
SiC-Platten 412
SiC-Werkstoffe 421, 445
3D gedruckte, silizierte 448
Smart City 41
Smart Contracts 41
Smart Factory 42
Smart Home 40
SNCR 334
Entwicklungsschritte der Technik 545
Nachrüstung zur Einhaltung der neuen BREF-Emissionsgrenzen 545
spezifischer Additivverbrauch 561
Verbesserung der Eindüsung 559
Sonden 334
Sonderabfallverbrennungsanlagen 821
Anpassung an veränderte Marktbedingungen 799
Emissionsminderung 806
Kapazitäten in Deutschland 803
Kapazitäten in Europa 802
Schredder zur Vorbehandlung 811
Sonderchargenstationen 813
Steigerung der Energienutzung 815
Tagesmittelwerte für NO_x 825
Sonderbetriebszustände 539
Sonderchargenstationen 813
Sortieranlage
für Hausmüll 142
Spritzen
thermisches 514
Stahlbaudatenbank 208
Staubfreisetzung 392
Stickoxidminderung
durch oszillatorische Verbrennung 243
Primärmaßnahmen 244
Stillstandsmanagement 281
Strahlungsmessungen 384
Strahlungstrocknung 639
Strahlungsüberhitzer 403
Strahlungswärmeflüsse 384
Strähnen 335
Strompreise
negative 309
Stützfeuerung 172
Systeme
cyberphysikalische 37

T

Temperature-Range-Probe 334
Temperaturgradienten 334
Temperaturmessung 382
berührungsfreie 549
akustische 565
hochauflösende 559
Temperaturschieflage 566
Thermodruckhydrolyse 687
Thermoelemente 334
Trilog-Verfahren 59
Trocken-Additiv-Verfahren 743
Trockensorption
konditionierte 741
Trocknung
von Klärschlamm 637, 671
Trocknungsarten 638
TWIN-NO_x-Verfahren 554

U

Überhitzer
Korrosion 264
Korrosionsdiagramm 265
Unternehmensstrategie
expansive 625

V

Verbrennung
mehrfach gestufte 232
Verbrennungsluftkonzept 784
Verbrennungsluftzugabe
oszillierende
zur Verminderung der Stickoxidbildung 243
Verbrennungsstabilität 257
Verdampferheizflächen 334
Verdünnungssonde 385
Verfügbarkeit 333
Vergärung
der organikreichen Feinfraktion 146
Vermeidung 11, 17
Vernetzung 36
Vernickelung
galvanische 502

Verordnung zur Neuordnung
der Klärschlammverwertung
597, 611, 626, 673, 753
Verschleiß 486
Verschmutzung 334, 407, 592
Very Low NO_x-Verfahren 232
Vickershärtemessung 495
Vorbereitung zur Wiederverwendung 17
Vorschubrostfeuerung 784
Regelungskonzepte 787
Vorwärts-Osmose-Membrandestillation 687

W

Wärmenetz
Hamburg 136
Wärmepumpen 319
Wärmesektor 317
Wärmestromdichte 477
Wärmetauscher 334, 771
3D gedruckter und
mit Silizium imprägnierter 451
Wärmeübertragungsheizflächen
Verschmutzung 355
Wäscher
Quecksilberabscheidung 738
Wasser-Dampf-Kreislauf
Modularisierung 208
Waste Incineration BREF 215, 821
Waste-to-Energy-Markt
in Deutschland 121
in Deutschland bis 2030 103
Wiederverwendung 18
Status Quo in Deutschland 23
Wirbelschichtverbrennung 727
Wirkungsgrade 375
energetische 763
fiktive elektrische 764
WLAN-Netz
Sicherheitslücken 277

Z

Zementwerke 751
Anteil alternativer Brennstoffe 762
Einsatz von Klärschlamm 619
Entwicklung der Energieträger 756
Entwicklung des spezifischen
Energieverbrauchs 762
Ersatzbrennstoffe 766
Klärschlammtrocknung 641
Mitverbrennung 751
Nassverfahren 755
Trockenverfahren 755
Zementwerksbetreiber
Reaktion auf die novellierte
Klärschlammverordnung 751
Zentrum für Ressourcen und Energie 135
Zero Waste 3, 58
Zyklonvorwärmer-Öfen
mit Vorkalzinator 755