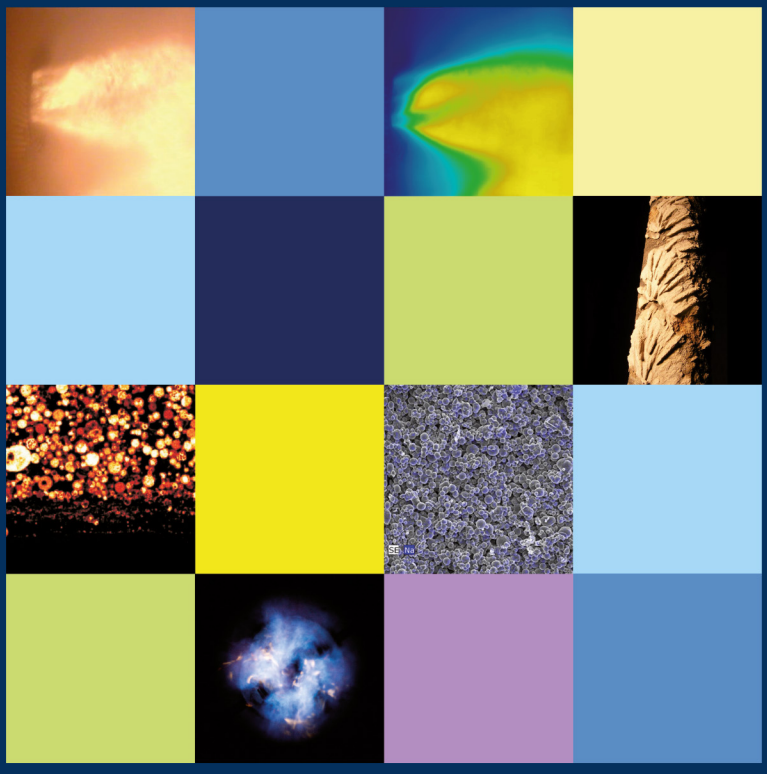
Michael Beckmann Antonio Hurtado

KRAFTWERKSTECHNIK

– Sichere und nachhaltige Energieversorgung –

Band 5



TK

Michael Beckmann

Antonio Hurtado

KRAFTWERKSTECHNIK

– Sichere und nachhaltige Energieversorgung –

Band 5

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Kraftwerkstechnik
Sichere und nachhaltige Energieversorgung – Band 5
Michael Beckmann, Antonio Hurtado.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013
ISBN 978-3-944310-04-6

ISBN 978-3-944310-04-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. Michael Beckmann und
Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Erfassung und Layout: Dipl.-Kffr. Elke Czaplewski, Katharina Bauß,
Ginette Teske, Cordula Müller, Petra Dittmann, Ina Böhme, Fabian Thiel, Martin Schubert
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München
Fotos auf dem Buchdeckel: Dipl.-Ing. Sebastian Kretschmer, Elco Burners GmbH, Pirna
Andreas Unger, Foto-Studio-Unger, Pirna, Dipl.-Ing. Stefan Gamaleia, DURAG GROUP, Freiberg
Dipl.-Ing. Martin Pohl, Dipl.-Ing. Slawomir Rostkowski, Dipl.-Ing. Christopher Thiel, Technische Universität Dresden

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.

Die energiepolitischen Rahmenbedingungen haben sich in kurzer Zeit erheblich verändert. Im Jahr 2022 soll das letzte Kernkraftwerk in Deutschland vom Netz gehen. Der Neubau von Kohlekraftwerken und auch deren Weiterbetrieb stoßen in der politischen und öffentlichen Diskussion auf rückläufige Akzeptanz. Favorisiert werden Erneuerbare Energieträger in einer Kombination mit erdgasbetriebenen Gaskraftwerken. Die Konsequenzen werden mehr und mehr deutlich. Der Großteil der für eine Energiewirtschaft auf der Basis Erneuerbarer Energieträger benötigten Komponenten ist noch in der Entwicklung, großtechnisch noch nicht erprobt und/oder zu langsam in der Umsetzung: die Rede ist von Speicherkonzepten, Netzanschlüssen, Netzverbindungen usw. Für die Erforschung und Entwicklung dieser Komponenten werden Zeit und Geld benötigt. Bedauerlich ist die Tatsache, dass die Forschungsergebnisse der letzten zehn bis zwanzig Jahre im Bereich der konventionellen Energieträger in Deutschland nicht umgesetzt werden. Dabei würden sich mit 700 Grad Kraftwerken und CCS Kraftwerken deutliche Verbesserungen in Richtung Effizienz, Ausstoß an Kohlenstoffdioxid, Ressourcenverbrauch usw. ergeben. Vieles geschieht gegenwärtig mit Verweis auf Akzeptanzgründe. Hier stehen die Erneuerbaren Energieträger jedoch am Anfang. Fragen der Umweltverträglichkeit von flächendeckenden Windparks, Netztrassen, Speichern usw. beginnen gerade erst aufzutauchen. Was sind also die Energieträger der Zukunft? Wie lässt sich der in Deutschland eingeschlagene Kurs erfolgreich und in Einklang mit der europäischen Energiepolitik gestalten? Das sind Fragen, die für den Standort Deutschland von großer Bedeutung sind und die in zahlreichen Beiträgen auch in diesem Buch angesprochen werden.

Zum 45. Mal bietet das Kraftwerkstechnische Kolloquium in Dresden die Möglichkeit, energiepolitische wie auch technische Fragen im Detail zwischen Experten aus der Industrie, von Behörden und aus wissenschaftlichen Einrichtungen zu diskutieren. Nach wie vor nehmen die konventionellen Kraftwerksprozesse und die zugehörigen Komponenten einen großen Umfang ein. Bei fossilen Dampferzeugern steht zunehmend die Aufgabe der Flexibilisierung im Vordergrund. Darüber hinaus sind aber nach wie vor Effizienzsteigerung, Verschlackung, Korrosion und Emissionsreduzierung wichtige Themen. Zahlreiche Beiträge widmen sich dem Betrieb und den Weiterentwicklungen von Gas- und Dampfturbinen. Mit den neuen Herausforderungen im Energiemarkt gewinnen Betriebsmanagement und Instandhaltung insgesamt deutlich an Bedeutung. Die zugehörigen Fragestellungen werden daher ausführlich erörtert, ebenso wie Themen der Diagnostik und der Armaturen im Kraftwerksbetrieb. Dem zunehmenden Einzug der Erneuerbaren Energien in die Energieversorgung trägt das Kraftwerkstechnische Kolloquium durch umfassende Beiträge unter der Überschrift Regenerative und dezentrale Energieversorgung Rechnung. In der sich verändernden Energieversorgung muss dringend neben der Energieumwandlung und Bereitstellung auch die Verteilung und damit die Anforderungen an die Netze angesprochen werden. Die Beiträge von 71 Autoren und deren Mitautoren sind in dem vorliegenden Buch in den Abschnitten

- Armaturen im Kraftwerk
- Elektrische Verteilernetze und Systemintegration
- Dampfturbinen und Gasturbinen
- Betrieb und Instandhaltung
- Flexible Kraftwerke
- Abtrennung und Speicherung von CO_2
- Abgasreinigung und Emissionen
- Reaktionskinetik
- Speicher im Kraftwerk
- Speicher
- Regenerative und dezentrale Energieversorgung
- Diagnostik

enthalten.

Den Autoren und Co-Autoren gebührt großer Dank. Durch die redaktionelle Bearbeitung und die Qualität der Präsentation in diesem Buch möchten wir ihren Aufsätzen, die wie immer termingetreu in hoher Qualität und in der Regel zusätzlich zu den beruflichen Verpflichtungen erarbeitet worden sind, eine entsprechende Würdigung verleihen.

Die Herausgeber möchten einen ganz besonderen Dank an Frau Dipl.-Ing. Britta Daume und die Herren Dipl.-Ing. Hubertus Altmann, Dr. Herbert Urban, Dipl.-Verwaltungswirt Erich Fritz, Oberregierungsrat Dr. Arne Höll, Dr.-Ing. Reinhard Maaß, Dr.-Ing. habil. Rutger Kretschmer, Professor Dr.-Ing. Bernd Meyer, Dipl.-Ing. Peter Nothnagel und Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. Karl J. Thomé-Kozmiensky richten, die in ihrer Funktion als Beirat mit vielen Ideen und mit Tatkraft bei der Gestaltung des Programms und der Gewinnung von Referenten und Sponsoren mitgewirkt haben.

Vieles wird jedoch erst durch die Unterstützung von Förderern und Sponsoren möglich. Hierzu gehören der Druck des Fachbuches in der vorliegenden Qualität und die Teilnahme von Studenten zahlreicher Universitäten, denen in diesem Jahr erstmalig ein besonderer Workshop zur Vorbereitung auf das Berufsumfeld in der Energiebranche ermöglicht wird. Bedanken möchten wir uns bei den Firmen: AREVA GmbH, Babcock Borsig Steinmüller GmbH, Bilfinger Berger Industrial Services GmbH, CheMin GmbH, Clyde Bergemann GmbH, Di Matteo Förderanlagen GmbH & Co. KG, DREWAG-Stadtwerke Dresden GmbH, ERC Emissions-Reduzierungs-Concepte GmbH, EUS-Weber GmbH, Hitachi Power Europe GmbH, Lahmeyer International GmbH, LAMTEC Meß- und Regeltechnik für Feuerungen GmbH & Co. KG, Linde Engineering Dresden GmbH, Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, Mehldau & Steinfath Umwelttechnik GmbH, NIS Ingenieurgesellschaft mbH, NUKEM Technologies GmbH, SAACKE GmbH, Siemens AG, Standardkessel GmbH, STEAG Energy Services GmbH, Steinmüller Engineering GmbH, Vattenfall Europe AG, Viessmann Deutschland Industrie GmbH, voestalpine Böhler Welding, Wallstein Ingenieur GmbH und Westinghouse Electric Germany GmbH für ihre Inserate und der Firma WM Consult für die Gestaltung des Workshops für die besten Studenten der Branche. Die Veranstaltung wird durch die Verteilung von Programmankündigungen in den Fachzeitschriften sowie die Werbung im Internet durch den VGB und den FDBR wohlwollend unterstützt.

Ein wesentliches Markenzeichen der Konferenz sind die Bücher des TK Verlages. Herrn Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. Karl Thomé-Kozmiensky und seinen Mitarbeitern – Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Ginette Teske, Cordula Müller, Petra Dittmann, Ina Böhme, Fabian Thiel und Martin Schubert – sei an dieser Stelle für die angenehme und kreative Zusammenarbeit bei dem nunmehr vorliegenden 5. Buch herzlich gedankt.

Das Kraftwerkstechnische Kolloquium liegt in bewährter Weise mit großen und einer Vielzahl an kleinen Aufgaben bei der Herstellung des Buches, dem Ablauf der Tagung, der Firmenpräsentation u.v.m. ganz wesentlich in den Händen von Dipl.-Kffr. Elke Czaplewski – daher gilt auch ihr ein ganz herzliches Dankeschön.

Oktober 2013

Michael Beckmann *Antonio Hurtado*

Inhaltsverzeichnis

Bemerkungen zur Energiepolitik in Deutschland
Arnold Vaatz 1

Ungewissheit, Risiko, Moral
– Wie wir mit Dilemmas umgehen –
Gerhard Schulze 13

Flexible Kraftwerke

Mindestlastabsenkung durch Anlagenoptimierung des Großdampferzeugers Schwarze Pumpe
Hellmuth Brüggemann und Gerald Schmidt 23

Anfahrvorgänge und Lastwechselgradienten bei Abhitzedampferzeugern mit Naturumlaufprinzip
René Hofmann, Arno Kolbitsch und Thomas Walch 35

Grundlagen zur Charakterisierung von festen alternativen Brennstoffen und die Umsetzung im neuartigen Rohrwaagen-System WeighTUBE
Luigi Di Matteo 49

Erstellung und Validierung eines Modells zur Untersuchung transienter Vorgänge in konventionellen Kraftwerken hinsichtlich Flexibilität
Ralf Starkloff, Karl Karner, Bernd Epple, Felix Böhm, Georg-Nikolaus Stamatelopoulos, Martin Schmitz und Rolf Seeger 53

Brenner und Feuerungen

Charakterisierung der Mitverbrennung von Biomassen mit Kohle in einer Kraftwerksstaubfeuerung im Pilotmaßstab
Alexander Scherrmann, Hans-Joachim Gehrmann, Werner Baumann, Manuela Hauser, Hanns-Rudolf Paur, Helmut Seifert, Jürgen Hock, Patrick Waibel, Jörg Matthes und Hubert Keller 65

Modifikation der Feuerung des Dampferzeugers von Block IV im Kraftwerk Herne und erste Betriebserfahrungen
Andreas Schmidt, Bernhard Zimmermann und Thomas Bühnen 77

NO_x-Minderung an Braunkohlegefeuerten Dampferzeugern russischer Bauart bei Einsatz von kritischen Kohlequalitäten
Hans-Ulrich Thierbach, Samir Nasri und Bernhard Zimmermann 91

Erkenntnisse aus dem Testbetrieb und Ausblick zur weiteren Nutzung der Forschungsanlage von Vattenfall
Uwe Burchhardt, Steffen Lysk, Steffen Griebe, Helge Kaß, Gerd Weiß, Rainer Giering und Michal Glazer 99

Verschlackung in Dampferzeugern

Brennstoffdiagnose mit Hilfe der PartikelGitterNetzSonde
Martin Pohl, Christopher Thiel, Michael Beckmann und Wolfgang Spiegel 115

Optimierung der Prozessanalyse und Anpassung der Reinigungsstrategie für ein modernes Braunkohlekraftwerk
Nina Heißen, Daniel Bartels, Antti Komulainen, Christian Mueller und Peter Lange 137

Depositionsbildung und Charakterisierung der Ascheablagerung vor Eintritt in die Konvektionsheizflächen eines steinkohlegefeuerten Heizkraftwerks
Selahattin Babat, Jörg Maier und Günter Scheffknecht 151

Verschlackungsuntersuchung mittels Online-Daten – Beispieluntersuchung am Braunkohle gefeuerten Kraftwerk Jänschwalde –
Sebastian Paulo, Gerd Stecklina und Roman Weber 167

Wirbelschicht-Trocknung

Einsatzmöglichkeiten der druckaufgeladenen Dampfwirbelschichttrocknung (DDWT) zur Wirkungsgradsteigerung und Flexibilisierung von Kraftwerken
Bernhard Pinkert, Ralf Gerlach und Ralf Peter 185

Druckaufgeladene Dampfwirbelschicht-Trocknung (DDWT) von Braunkohlen – Ausgewählte Beiträge zur Kraftwerksintegration –
Matthias Merzsch, Joachim Posselt, Philipp Wiedemann und Hans Joachim Krautz ... 195

Die DDWT-Technologie für hocheffiziente und flexible Braunkohlekraftwerke
Olaf Höhne, Jörg Martin, Thomas Porsche und Thomas Rauer 211

CCS-Technologien

Vergleich der In-situ-Entschwefelung mit Kalkstein bei Luft- und Oxy-Fuel-Feuerungsbedingungen in einer 150 kW_{th} zirkulierenden Wirbelschicht-Pilotanlage
Theodor Beisheim, Gerrit Hofbauer, Heiko Dieter und Günter Scheffknecht 225

Potential der Wirkungsgradsteigerung und der damit verbundene Bauaufwand eines membranbasierten Oxyfuel-Dampfkraftwerkes – Optimierung nicht um jeden Preis –
Jewgeni Nazarko, Alexander Otto und Detlef Stolten 235

Analyse von flexiblen IGCC-Konzepten der nächsten Generation
Alexander Buttler, Christian Kunze und Hartmut Spliethoff 259

Abtrennung und Speicherung von CO_2

Verflüssigung von CO_2 aus Oxyfuel-Rauchgasen – Experimentelle Ergebnisse und Modellierung des Wärmeübergangs –
Thorsten Küster und Rudolf Eggers 275

Untersuchungen der Desorptionskinetik von CO_2 aus wässrigen Amin- und Carbonatlösungen zur Optimierung von CO_2-Abscheideprozessen
Alexander Tunnat, Peter Behr und Klaus Görner 289

CO_2-Speicherung durch Mineralisierung kraftwerksinterner Stoffströme
Martin Köhler, Andrea Ohle, Norbert Mollekopf, Uwe Burchhardt, Jens Ringel und Thomas Günther 299

Erste Ergebnisse der Untersuchungen zur Emissionsminderung an der PCC Pilotanlage in Niederaußem
Frank Rösler, Torsten Stoffregen, Peter Moser, Tobias Ginsberg, Iven Clausen und Gustavo Lozano 311

Abgasreinigung und Emissionen

Messung von Quecksilber im Rohgas von Verbrennungsanlagen
Florian Greiter und Michael Klein 321

DeNOx-Technologie für große Verbrennungsanlagen
– Jüngste Entwicklungen und Betriebserfahrungen an kohlebefeuerten Anlagen mit SNCR und SCR –
Zoltan Teuber und Wolfgang Schüttenhelm 333

REAplus: Weiterentwicklung der Nass-REA auf Kalksteinbasis
– Drei Jahre Betriebserfahrungen mit einem Hochleistungswäscher –
Harald Reissner, Michael Kramer, Andreas Gruber-Waltl, Peter Moser und Knut Stahl 347

SNCR-Verfahren für kohlegefeuerte Kessel > 200 MW_{el}
– Erfahrungen und letzte Entwicklungen –
Bernd von der Heide 363

Dampfturbinen

Ventilation im Teil- und Schwachlastbetrieb von HD- und ND-Dampfturbinen
Thomas Kwitschinski, Michael Henke, Michael Bartelt und Jörg R. Seume 379

Konformität von Dampfturbosträngen mit der Richtlinie 2006/42/EG
– Lessons learned aus den aktuellen Neubauprojekten –
Bernhard Wüst, Zeynep Yigit-Rohde, Stephan Weber und Matthias Zelinger 395

Qualifizierung von Magnetlagern für Industriedampfturbinen
Detlef Haje und Christoph Grund 403

Erfahrungen mit Dampfturbinen- und Rohrleitungsentwässerungen
Ralph Stemme 409

Gasturbinen

Betriebsflexibilität der Alstom GT26 Gasturbine: Brennstoffumschaltung
Susanne Schell, Martin Liebau und Jean-Louis Moes 423

Konzept zur Lebensdauerverlängerung von Gasturbinenanlagen auf Basis einer systematischen Risikoanalyse und Zustandsbewertung
Stefan Buse, Wieland Holzer und Martin Winterstein 433

Verbesserung des Druckrückgewinns in Axialdiffusoren für GuD-Kraftwerke
Bastian Drechsel und Jörg R. Seume 445

Armaturen im Kraftwerk

Moderne Dampfkühlung zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit im Kraftwerksprozess
Matthias Dirbach, Franz Hansknecht und Klaus Mehnert 463

Reduktion der Installations- und Betriebskosten von Kraftwerken durch intelligente Antriebe für Regel- und Auf/Zu-Armaturen
Babak Farrokhzad, Gotthard Gawens und Lothar Beier 475

Kondensate fördern – mal anders!
Sadko Meusel 489

Analytische Methoden zur Vermeidung von schweren Schäden an Rohrsystemen durch Schwingungen bei dynamischem Anlagenbetrieb
Thorsten Neuhaus, Wolfgang Drießen, Axel Schulz und Thomas Leyh 501

Erfahrungen mit Turbinenölen auf Basis neuester Grundölgeneration – Low Varnish-Öle –
Wolfgang Bock 517

Betrieb und Instandhaltung

Erfahrungen beim Einsatz von filmbildenden Aminen zur Stillstandskonservierung im Heizkraftwerk Cottbus
Patrick Hillwig, Helmut Ziehe, Kerstin Liebscher und Sven Wenzke 533

Konservierung von Kesselanlagen und Turbinen mit dem Grenzflächenaktiven Stoff Octadecylamin
Erwin Czempik, Ronny Wagner und Alexander N. Kukushkin 543

Instandhaltung von Kraftwerken mit flexibilisierten Fahrweisen
Hans Christian Schröder und Achim Foos 555

Chancen in der Analyse von Prozessdaten
Jan Sparmann, Frank Stapelfeldt und Gerd Ellmer 569

Analyse der Messdatenvalidierung nach der VDI-Richtlinie 2048 mit dem Z-Algorithmus
Andreas Hauschke, Elmar Zander und Reinhard Leithner 579

Elektrische Verteilernetze und Systemintegration

Möglichkeiten und Grenzen des europäischen Verbundsystems – eine empirische Analyse für den deutschen Kraftwerkspark –
Christoph Pellinger, Manuel Sutter und Tobias Schmid 591

Neue Rolle der Verteilnetze – Anwendungsfall Blindleistungsmanagement –
Wilma Becker und Ronald Halbauer 601

Prozessgüte-Überwachungssystem TDY zur zentralen Flottenüberwachung des australischen Energieversorgers Origin
Julia Burucker, Cameron Lee und Stefan Raab 615

Regenerative und dezentrale Energieversorgung

Safety First? – Sicherheitsabstände von Windenergieanlagen zu Infrastruktureinrichtungen
Janko Geßner 631

Modell zur Erstellung anlagenscharfer Ausbauszenarien für Windkraftanlagen zur Unterstützung der Netzplanung
Tobias Schmid, Luis Carr und Christoph Pellinger 641

Stromerzeugung aus der Abgaswärme durch ein Abhitze-Dampfkraftwerk im Zementwerk Rohrdorf
Helmut Leibinger 653

Optimale Auslegung von ORC-Prozessen zur Nutzung von Niedertemperatur-Abwärme
Martin Habermehl, Christopher Steins und Reinhold Kneer 665

Untersuchungen zum solaren Repowering fossiler Dampfkraftwerke am Beispiel Usbekistans
Ravshanjon Khujanov, Stephan Heide und Uwe Gampe 677

Integrated Solar Combined Cycle – Stand der Technik und Ausblick auf eine optimierte Anlagenplanung –
Thomas Schmitt, Tilman Herzig und Johannes Kretschmann 689

Salzschmelzespeicher für Linear-Fresnel-Solarkraftwerke – ein Vergleich –
Alexander K. Vogel, Helmer Reiling, Thomas P. Fluri und Werner J. Platzer 695

Vorschubroste zur energetischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen und Biomassen
Detlef Simon 713

Wirtschaftlich effiziente Biomasse Heizkraftwerke
Rolf Michler 721

Speicher

Flexibilisierung von Kraftwerken durch thermische Energiespeicherung
Uwe Lenk und Alexander Tremel 733

Batteriespeicher der MW-Klasse aus Sicht eines Kraftwerkbetreibers
Michael Mühl, Dennis Gamrad und Franz-Josef Blug 749

Auslegung von Energiespeichern und Integration in konventionelle Bestandskraftwerke – Erhöhung der Anlagendynamik, Lebensdauersicherung der Komponenten, Senkung der technischen Mindestlast sowie Spitzenlast- und Regelenergiebereitstellung –
Norbert Jentsch, Andreas Jochmann, Alexander Kratzsch und Sebastian Braun 761

Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Braunkohle mit synthesegasbasierten Annex-Konzepten
Christian Wolfersdorf, Kristin Boblenz, Robert Pardemann und Bernd Meyer 773

Flüssigluftenergiespeicherung: Konzept und Analyse eines Systems für großtechnische Anwendungen
Brian Stöver, Sebastian Rehfeldt, Alexander Alekseev und Christoph Stiller 791

Adiabate Druckluftspeicher für die Elektrizitätsversorgung – Status des Projektes ADELE-ING –
Roland Marquardt, Peter Moser, Christoph Niklasch, Peter-Michael Mayer, Sebastian Freund, Mathilde Bieber, Karl Götz und Jens Milleder 803

Stand der Technik und innovative Verfahrenskonzepte zur Umwandlung und Speicherung elektrischer Energie
Nina Hack, Simon Unz, Christoph Pieper und Michael Beckmann 821

Diagnostik

Video und Thermographie von Flammen zur Feuerungsführung in Steinkohle- und Braunkohle-Kesseln
Roland Zepeck und Eagarat Chaiyarith 861

Echtzeit Verbrennungsoptimierung – Modellprädiktive Regelung mittels 2D-Temperaturmessung –
Clemens Lindscheid, Francesco Turoni, Alexander Hlawenka und Thorsten Althaus 871

Kriterien für den Einsatz von Monitoring- und Diagnosesystemen für große Turbogeneratoren
Gunnar Löhning, Dietmar Haake und Uwe Heusler 881

Reaktionskinetik

Heterogene Kinetik der Koksverbrennung
Roman Weber und Marco Mancini 895

Zünd- und Abbrandverhalten von staubförmigen Brennstoffen
Tao Wen, Daniel Bernhardt, Kathrin Gebauer und Michael Beckmann 913

Experimentelle Untersuchung der Hochdruck-Pyrolyse von Kohle und deren Einfluss auf die intrinsische Kinetik der CO_2-, H_2O- und der kombinierten H_2O-/CO_2-Vergasung
Markus Steibel, Federico Botteghi, Markus Stetka, Mario Nakonz und Hartmut Spliethoff 941

Untersuchungen zur Reaktionskinetik bei der Co-Vergasung von Lausitzer Braunkohle und Fangstoffen aus der Papierindustrie
Kevin Günther, Denise Reichel, Mathias Klinger, Steffen Krzack und Bernd Meyer 953

Autorenverzeichnis 967

Inserentenverzeichnis 1013

Schlagwortverzeichnis 1021

Bemerkungen zur Energiepolitik in Deutschland

Arnold Vaatz

1. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – Genesis und Wirkungsweise 2

2. Die Kosten des EEG (allgemeiner Teil) 4

3. Die Kosten des EEG (spezieller Teil) 6

4. Zur Grundlastfähigkeit von Sonnen- und Windstrom 7

5. Zusammenfassung 10

6. Quellen 12

Die Bundesregierung stellt in ihrem Energiekonzept von 2010 an die Energieversorgung drei Anforderungen: Sie soll wirtschaftlich (sowohl aus der Sicht der Wirtschaft als auch der Verbraucher), sicher und umweltschonend sein. Um dies zu erreichen, soll bis 2050 60 % des Bruttoenergieverbrauchs und 80 % der Stromerzeugung von sogenannten *Erneuerbaren Energien* abgedeckt werden. Am 30. Juni 2011 präzisierte der Deutsche Bundestag diese Pläne durch die Forderung, bis zum 31. Dezember 2022 vollständig auf die Stromerzeugung aus Kernenergie zu verzichten. Die Unternehmen RWE und E.on reichten daraufhin Klage beim Bundesverfassungsgericht ein, Vattenfall rief das internationale Schiedsgericht für Investitionsstreitigkeiten in Washington an. Die Entscheidungen in diesen Fragen stehen aus.

Wohl wissend, dass die Stromerzeugung nur etwa 15 % des Energieverbrauches in Deutschland ausmacht, möchte ich mich in meinen Ausführungen ausschließlich auf die Strombereitstellung konzentrieren, da ich hier den größten Korrekturbedarf sehe.

Ich möchte mich mit folgenden Fragen befassen:

- Sind die energiepolitischen Ziele vernünftig und erreichbar?
- Bewirkt die implementierte Gesetzeslage eine den genannten Anforderungen entsprechende Energiebereitstellung?

Politik beginnt mit der Betrachtung der Realität und setzt sich fort mit der Wahl der Worte. Diese können die Realität korrekt beschreiben oder auch verbergen – je nach politischer Absicht. Der Terminus *Erneuerbare Energie* gehört zur letzteren Kategorie. So wie der Begriff *Genmais* suggeriert, gewöhnlicher Mais habe keine Gene und der Begriff *CO_2-freie Gesellschaft* es sei möglich ohne die Abgabe von CO_2 in die Atmosphäre zu leben, ist auch der Begriff *Erneuerbare Energie* ein Appell an den physikali-

1-12_Vaatz.indd 1 25.09.13 14:43

schen Analphabetismus der Gesellschaft – denn dass Energie nicht erneuert sondern verschiedene Energieformen lediglich ineinander umgeformt werden können, lernt man bekanntlich im ersten Jahr des Physikunterrichtes. Ich vermeide den Begriff *Erneuerbare Energien* oder dessen Koseform *Die Erneuerbaren*, indem ich stattdessen von *alternativen Stromerzeugungsformen* Spreche – es sei denn, ich muss ihn zitieren – etwa im Kürzel *EEG* für *Erneuerbare Energien Gesetz*.

Eines der allgegenwärtigen neuen politischen Prinzipien des 21. Jahrhunderts – oder wenigstens seiner ersten beiden Jahrzehnte – ist die umfassende Ökologisierung aller politischen Disziplinen. Insbesondere die Energiepolitik in Deutschland und der Europäischen Union ist heute faktisch eine Unterdisziplin der Klimaschutzpolitik. Die wiederum beruht auf der Annahme von der Klimaschädlichkeit einer erhöhten CO_2-Konzentration in der Atmosphäre. Gegen diese Annahme mehren sich Zweifel. Ich verweise auf das 2012 erschienene Buch *Die Kalte Sonne* von Fritz Vahrenholt und Sebastian Lüning [1]. Fällt die Klimaprämisse, dann verkehrt sich die von Deutschland reklamierte energiepolitische Vorreiterrolle in der Welt in eine Vorreiterrolle bei historisch wohl beispiellosen Fehlallokationen, die die kommenden Generationen von einer völlig anderen Seite als erwartet belasten werden.

Aber auch, wenn das CO_2 der allgemein behauptete Klimakiller sein sollte, erhebt sich die Frage, ob die erbringbaren deutschen oder europäischen Beiträge zur Emissionsminderung an der Weltsituation etwas ändern und ob nicht die – in Deutschland freilich erfolgreich tabuisierte – Diskussion über eine Anpassung an die Klimaveränderung mehr Erfolg verspricht als die Diskussion um deren Vermeidung.

Und schließlich: Wenn das CO_2-Minderungsziel in der Tat dem Klimaschutz dienen sollte, erhebt sich die Frage, inwieweit der energiegesetzliche Rahmen dazu beiträgt, es zu erreichen. Ordnungspolitisch sinnvoll und ausreichend hierzu ist der europäische Emmissionshandel. Jeder darüber hinausgehende Eingriff macht die Statik des Systems überbestimmt und führt zu suboptimalen Resultaten. Hierzu verweise ich auf einschlägige Literatur: *Die Klimapolitik Katastrophe* von Joachim Weimann [2] und *Das grüne Paradoxon* von Hans-Werner Sinn [3]. Mit der dem Kernenergieausstieg verweigert sich Deutschland zudem einer CO_2-neutralen Stromerzeugung und deren Weiterentwicklung.

1. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – Genesis und Wirkungsweise

Um der Stromerzeugung aus Wind, Sonne, Wasser und Biomasse eine Chance zu geben, hatte der Bundesumweltminister Töpfer im Jahr 1990 ein *Stromeinspeisegesetz* entworfen, das per 1. Januar 1991 in Kraft trat und die konventionellen Energieversorger verpflichtete, alternativ erzeugten Strom abzunehmen und pro Kilowattstunde mit 75 – 90 % jenes Erlöses zu vergüten, den sie selbst im betreffenden Kalenderjahr pro Kilowattstunde aus dem Verkauf ihres eigenen Stromes nach einem bestimmten Messverfahren erzielt hatten.

1-12_Vaatz.indd 2 25.09.13 14:43

Die seit 1998-2005 amtierende Rot-Grüne Koalition unter Bundesumweltminister Trittin machte aus dem Türöffner für den Netzzugang eine Gelddruckmaschine für Wind-, Biogas-, Wasserkraft- und Solaranlagenbetreiber (Tabelle 1). Das Gesetz erhielt den Namen *Erneuerbare-Energien-Gesetz* und versah die Lieferanten von Strom aus alternativen Quellen mit einer auf zwanzig Jahre geltenden Vergütungsgarantie ab dem Inbetriebnahmezeitpunkt, die sich bei Solarstrom zunächst auf eine DM/kWh belief – zu einem Zeitpunkt, als der Herstellungspreis einer Kilowattstunde aus konventionellen Quellen etwa 5 Pfennige betrug.

- neuer Name
- Ausbaugrenze 350 MW_{p}, dann Anschlussregelung zugesagt
- Annahmepflicht/Netzausbaupflicht
- Vergütung zwanzig Jahre lang garantiert (Ausnahme: Offshore-Wind)

Energieart	ct/kWh	Degression für Neuanlagen
Wasserkraft, Deponiegas, Grubengas, Klärgas	7,67	
Biomasse bis 0,5 MW	10,23	1 %/a ab 01.01.2002
Biomasse bis 5 MW	9,2	1 %/a ab 01.01.2002
Biomasse mit mehr als 5 MW	8,69	1 %/a ab 01.01.2002
Geothermie bis 20 MW	8,95	
Geothermie ab 20 MW	7,16	
Wind	9,1	1,5 %/a ab 01.01.2002
Solar	50,6	5 %/a ab 01.01.2002

Tab. 1:

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 1. April 2000

Der Ausbaugrad mit EEG-privilegierten Stromerzeugern nahm nun rasant zu. Gleichzeitig zeigte sich die Wirkung der Volatilität von Wind- und Solarstromdargebot: Es kam zu Netzüberlastungen und es musste aus Gründen der Netzstabilität Strom abgewiesen werden. Die Konsequenz war eine Regulierung der hieraus erwachsenden Ertragsschäden. Diese geschah mit der EEG-Novelle von 2009 in der Ägide des Bundesumweltministers Gabriel und trat in der folgenden Legislaturperiode in Kraft.

Das EEG vom 1. Januar 2009

§ 12: Wird die Einspeisung von EEG-Strom wegen eines Netzengpasses reduziert, sind die von der Maßnahme betroffenen Betreiberinnen und Betreiber für 95 Prozent der entgangenen Einnahmen zu entschädigen. Übersteigen die entgangenen Einnahmen in einem Jahr ein Prozent der Jahreseinnahmen, sind die Betreiberinnen und Betreiber zu 100 Prozent zu entschädigen.

Betreiberinnen und Betreiber von EE-Anlagen sollen künftig spätestens am Vortag vom Netzbetreiber über den erwarteten Zeitpunkt, den Umfang und die Dauer des Einspeisemanagements (Anm.: *gemeint ist z.B. das Stoppen der Einspeisung in sein Netz) informiert werden.*

1-12_Vaatz.indd 3 25.09.13 14:43

Damit war die völlige Risikobefreiung der EEG-Privilegierten erreicht. Wind- und Sonnenstrom wurden von nun an auch dann bezahlt, wenn sie gar nicht ins Netz eingespeist wurden.

Dieses Gesetz war der Abschied von den Prinzipien der Marktwirtschaft in der Energiepolitik:

- Der Staat tritt als Vormund der Wirtschaft auf. Er überlässt die Wahl geeigneter Technologien nicht der Wirtschaft und der technischen Entwicklung sondern trifft selbst eine Vorauswahl. Für eine breit angelegte, außerhalb der staatlichen Privilegierungsschemata angelegte Forschung und Entwicklung gibt es keinen Anreiz mehr, wir erleben eine Engführung der Energieforschung. In der DDR war dies als das *Rinderoffenstall-Problem* aus der Rinderzucht bekannt.
- Die wesentliche marktwirtschaftliche Kategorie der *Nachfrage* als begrenzende Größe für das Angebot und damit die Produktion ist dauerhaft suspendiert. Nicht die Nachfrage nach Grünstrom bestimmt die Produktion von Windrädern oder Solarelementen, sondern die vom tatsächlichen Bedarf entkoppelte staatliche Abnahmegarantie. Als Konsequenz entsteht ein Zauberlehrling-Effekt: Das Grünstromdargebot wächst über alle Grenzen und muss in zunehmendem Maße – nachdem es dem Erzeuger vergütet wurde – vom Netz abgewiesen oder unter dem Herstellungspreis verkauft werden. In der DDR ist als das *Brotverfütterungsproblem* in der Schweinezucht bekannt.
- Das unternehmerische Risiko des Investors ist suspendiert. Es wird auf die Stromkunden abgewälzt. Er allein übernimmt die vollständige Haftung für Fehlallokationen von Investitionskapital.
- Das Gesetz bestraft die ökologisch erwünschte sparsame Verwendung des Stromes durch Preisanstiege: Schränken die Stromkunden ihren Verbrauch um 50 Prozent ein so müssen die EVUs die Umlage auf die verbrauchten 50 % verdoppeln.
- Das Gesetz macht die Erzeuger wettbewerbsresistent und beraubt damit die technologische Entwicklung ihres wichtigsten Antriebs. Es initiiert massenweise Investitionen in Bekanntes.
- Das Gesetz ist faktisch kaum kassierbar. Es begründet marktfremde Besitzstände. Die Eigentümer werden ihre Gewinne zur Verteidigung ihrer Einnahmequelle einsetzen. Erst die sozialen Folgen der massiven Umverteilung von unten nach oben durch dieses Gesetz werden Änderungen ermöglichen.

2. Die Kosten des EEG (allgemeiner Teil)

Um die Kosten zu ermitteln, die das EEG dem Stromkunden auferlegt, habe ich die jährlichen Veröffentlichungen der Netzbetreiber herangezogen [4]. Entlastend wurden die vermiedenen Netzentgelte, die dann wirksam wurden, wenn der Strom vom Erzeuger zum Verbraucher nicht das Übertragungsnetz passieren muss, von den Gesamtkosten

1-12_Vaatz.indd 4 25.09.13 14:43

abgezogen. Sodann wurde angenommen, dass die in jedem Jahr neu hinzugekommene Erzeugungsleistung von diesem Jahr an 20 Jahre lang anfällt d.h. die neuen Anlagen eine Nutzungsdauer von 20 Jahren haben, also die EEG-Privilegierung voll ausnutzen.

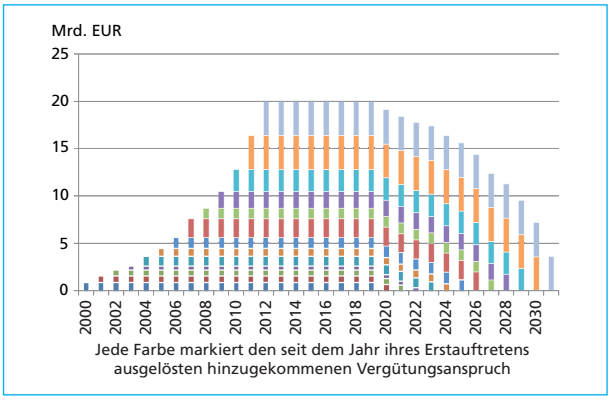


Abb. 1:

Bereits fällige EEG-Kosten, Summe: etwa 400 Milliarden Euro (Zubau 2012 geschätzt)

Quelle: http://www.eeg-kwk.net/de/EEG_Jahresabrechnungen.htm

Als Resultat ergibt sich (bei Schätzung eines Zuwachses von etwa 3,5 Mrd. in 2012 – für das die Zahlen noch nicht vorliegen) eine inzwischen durch das Gesetz garantierte Gesamtverbindlichkeit von 400 Milliarden Euro. Davon wurden in den Jahren bis 2013 etwa 90 Milliarden EUR abgegolten, für die Jahre bis 2032 werden weitere 310 Milliarden EUR fällig. Haftungsleistungen für unterbliebene Abnahmen – dazu später –, Refinanzierungsleistungen für den Leitungsbau und steigende Kosten für Regelenergieabfragen oder Importe dabei nicht enthalten, sie sind, sobald sie anfallen, hinzuzuaddieren.

In diversen Studien – wie z.B. auch eine neuere des DIW [5] – wird in der Regel darauf verwiesen, dass allerdings beim Vergleich der Kosten des EEG mit konventionellen Stromerzeugungstechnologien deren externe Kosten zu berücksichtigen seien, darunter fiktive Versicherungskosten für Atomunfälle u.ä. Diese werden dann aus willkürlichen Angaben zusammengetragen und addiert. Bei alternativen Technologien unterbleiben in der Regel derartige Überlegungen. Die Kosten der mangelnden Verfügbarkeit des Grünstroms bleiben generell unberücksichtigt. Ich halte derartige Vorgehensweisen für unseriös.

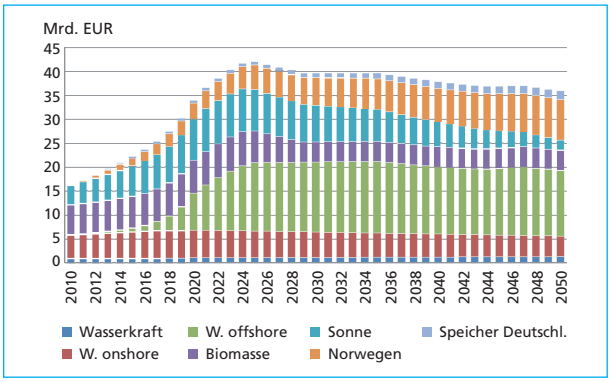


Abb. 2:

Kosten für 100 % alternative Stromerzeugung bis 2050: 1,42 Billionen Euro

Quelle: Sachverständigenrat für Umweltfragen, Sondergutachen Jan. 2011 Wege zu 100 % erneuerbarer Stromerzeugung

1-12_Vaatz.indd 5 25.09.13 14:43

Die genannte Studie will beweisen, dass der ausschließliche Einsatz von alternativen Stromerzeugungsformen wirtschaftlicher ist als Strom aus nuklearen und fossilen Energiequellen. Hierfür existiert aber schon eine Aussage des Sachverständigenrates für Umweltfragen [6].

Die vielfach kolportierte Aussage von Bundesminister Peter Altmaier, wonach die Kosten der Energiewende bei etwa einer Billion EUR liegen, wird also selbst dann von der Aussage des Sachverständigenrates noch übertroffen, wenn man davon ausgeht, dass es bei dem avisierten Ziel der Bundesregierung bleibt, wonach nicht die gesamte Stromerzeugung, sondern nur 80 % bis 2050 aus alternativen Quellen kommen sollen.

3. Die Kosten des EEG (spezieller Teil)

Die allgemein dargestellten Kosten des EEG-Stroms sagen jedoch noch nichts darüber aus, wie hoch konkret die Mehrkosten für den Verbraucher durch das EEG werden und auf welcher Weise sich diese ergeben. Dies soll nun an einer Fallstudie erläutert werden. Herangezogen wird hierzu die Einspeiseganglinie des EEG-Stroms im Monat Dezember 2012 (Abbildung 3) nebst Preisentwicklung (Abbildung 4).

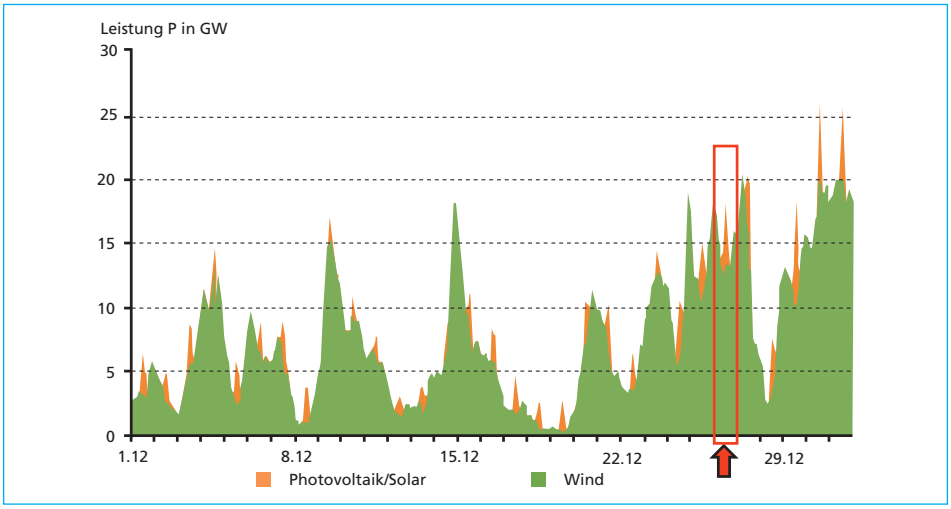


Abb. 3: Gesamteinspeisung von Wind- und Solarstrom für Dezember 2012 in das deutsche Netz

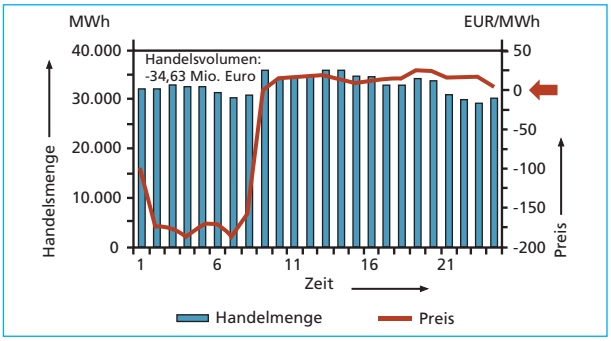


Abb. 4:

Gesamtumsatz: etwa 780 GWh (Tagesbedarf in Deutschland etwa 1.600 GWh)

Quelle: EEX Leipzig European Energy Exchange am Mittwoch 26.12.2012

1-12_Vaatz.indd 6 25.09.13 14:43

Am 26. Dezember, dem 2. Weihnachtsfeiertag gab es eine gute Windstromausbeute, aber feiertagsbedingt nur eine geringe Abnahme des Stroms. Die Gesamtbilanz ergibt sich wie folgt:

- Kosten durch Einspeisevergütung an Erzeuger (nur Windstrom gerechnet):
  - * durchschnittliche Vergütung: etwa: 85.000 EUR/GWh
  - * Verlust aus Einspeisevergütung: etwa: 66 Mio. EUR
- Erlöse aus dem Stromverkauf an den an Importeur:
  - * verkaufte Energiemenge: etwa: 780 GWh
  - * durchschnittlicher Verkaufspreis: etwa: - 45.000EUR/GWh
  - * Verlust aus negativen Strompreisen: etwa: 34 Mio. EUR
- Verluste für den Stromkunden an einem Tag: etwa: 100 Mio. EUR

Nun ist dieser Verlust am zweiten Weihnachtsfeiertag nicht symptomatisch für das gesamte Jahr. Aber auch die Jahresrechnung liegt vor und die besagt (Tabelle 2):

Tab. 2: Gesamtverluste aus Stromexporten im Jahr 2012

Exportiert wurden:	~ 67 TWh
Einnahmen:	
durchschnittlicher Börsenpreis im Jahr 2012:	~ 45 Mio. EUR/TWh
ergibt eine Einnahme von:	~ 3 Mrd. EUR
Ausgaben:	
Durchschnittsvergütung an Wind- und Solarstromerzeuger:	~ 170 Mio. EUR/TWh
ergibt Ausgabe von:	~ 11,4 Mrd. EUR
Saldo (Verlust für den Stromkunden):	~ 8,4 Mrd. EUR
Dies entspricht in Deutschland (82 Mio. Einwohner):	~ 100 EUR/Kopf
Vergleich zu 2011:	
exportiert: 54,5 TWh, Verlust: 6,6 Mrd. EUR, entspricht etwa 80 EUR/Kopf	

Quelle: Sächs. Zeitung v. 3. April 2013

Dies ist ein Verlust von etwa 23 Millionen Euro pro Tag.

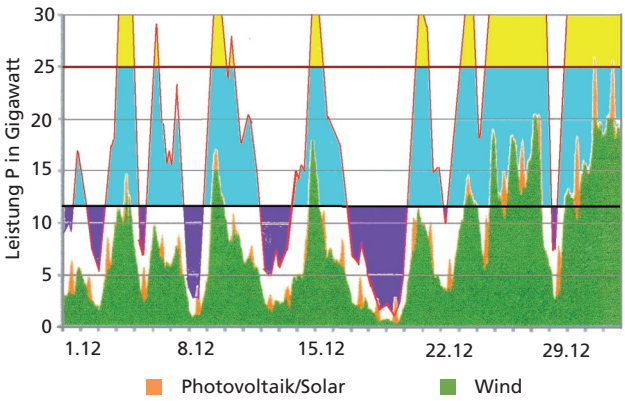
4. Zur Grundlastfähigkeit von Sonnen- und Windstrom

Aber leistet das EEG bei alledem wenigstens, was von ihm erwartet wird? Es sollte die Substitution von unerwünschten Stromquellen durch Grünstrom ermöglichen. Tut es das?

Die Abbildung 5 zeigt die schon aus Abbildung 4 bekannte Einspeisungsganglinie in Deutschland für Wind (grüne Fläche) und Solarstrom (kleine gelbe Spitzen) im Monat Dezember 2012, einem relativ windreichen Monat. Darüber ist eine Kurve mit der dreifachen Ordinatengröße abgetragen. Sie soll die (hypothetische) Ausstattung Deutschlands mit der dreifachen Windverstomungskapazität gegenüber dem Status

1-12_Vaatz.indd 7 25.09.13 14:43

quo markieren. Das Resultat zeigt, dass dies zwar über große Abschnitte die verminderte Lastabgaben oder Abschaltungen bei den grundlastfähigen Stromerzeugern (Fläche türkis) und schließlich Netzentlastungen zu negativen Strompreisen (Fläche gelb) erzwingt, aber gleichwohl dem Netz noch immer auch Unterversorgungszeiten (violette Flächen) beschert, in denen die gesamte oder nahezu die gesamte Grundlast auf konventionellem Weg beschafft werden muss.



rote Kurve:	Lastganglinie beim Dreifachen der installierten Windstromleistung
violette Fläche:	Zuschussbedarf zur Deckung der Grundlast durch konventionelle Erzeuger
hellblaue Fläche:	Unterbelastungszeiten der konventionellen Kraftwerke
gelbe Fläche:	Überlaststrom (Verkauf zu negativen Preisen)

Abb. 5: Wind 12/2012 (real und bei hypothetischer dreifacher installierter Windstromleistung)

Die Offshore-Windenergie könnte hier die Rettung bringen. Hierzu gab es ehrgeizige Ausbauziele: bis 2013 sollten 3.000 MW Maximalleistung installiert oder im Bau sein. Zu erwarten sind beim gegenwärtigen Sachstand bis Ende 2013 maximal 305 MW, etwa 10 % des Planziels. Folge: Enorme Einnahmeeinbußen der Investoren, ein heftiger Haftungsstreit, da einerseits der theoretisch lieferbare Strom mangels Umrichter-Plattformen und Zuleitungen nicht ins Netz abgegeben werden kann und mit der baldigen Fertigstellung der benötigten Einheiten nicht kurzfristig zu rechnen ist, jedoch andererseits der Kapitaldienst für die Investition zu erbringen ist. Am 29. 8. 2012 beschloss das Bundeskabinett gegen die Stimme von Bundesverbraucherschutzministerin Ilse Aigner, die Haftung für die entgangene Einspeisevergütung ab dem 11. Tag der Nichteinspeisung den Netzbetreibern aufzuerlegen, die diese dann auf die Stromkunden abwälzen können.

Aber wenn die Offshore-Windanlagen dermaleinst installiert und zur Zufriedenheit funktionieren: Werden sie dann den Grünstrom zum praktikablen Substitut der konventionellen Energieerzeugung machen? Abermals Nein. Weil die Stromausbeute proportional zur dritten Potenz der Windgeschwindigkeit wächst und fällt, oszilliert der Offshore-Strom noch in viel kürzeren Perioden von null auf Maximalleistung, so dass sich ein nagelbrettartiges Ausbeuteprofil ergibt (Abbildung 6).

1-12_Vaatz.indd 8 25.09.13 14:43

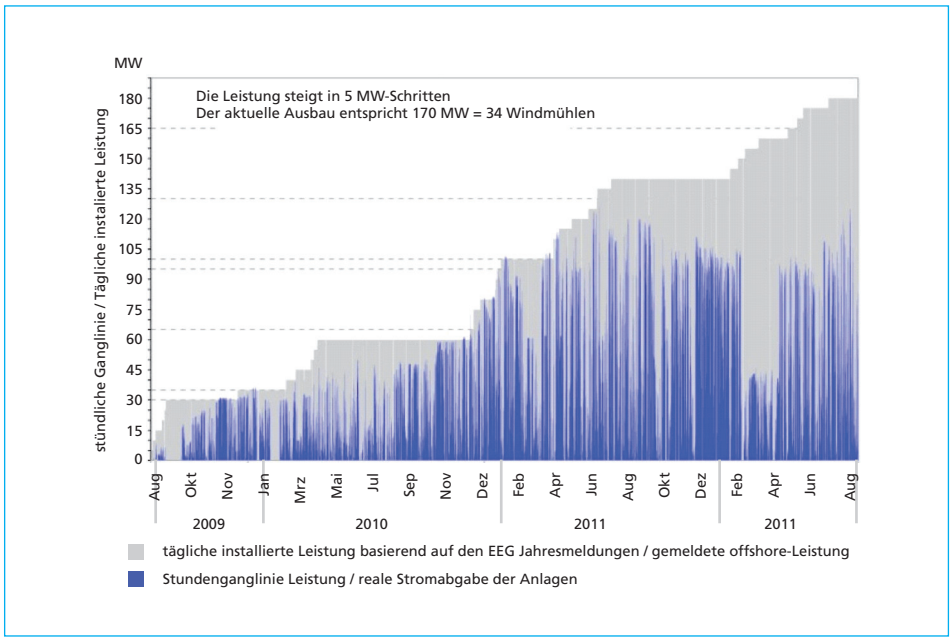


Abb. 6: Offshore-Wind: wirkliche Ganglinie versus gemeldete Leistung

Quelle: http://de.scribd.com/doc/109406767/Das-Offshore-Chaos,Tennet,Darstellung: Rolf Schuster

Datenquelle: Transpower / TEnneT:Tatsächliche eingespeisste Leistung der Offshore-WE-Anlagen

Dena-Chef Kohler sah sich deshalb bezüglich Offshore-Windstrom zu der Aussage veranlasst, dass von der hohen installierten Leistung seien gerade einmal *sechs Prozent wirklich verlässlich verfügbar* seien.

Die Aussage *Grundlast ist Denken von gestern* scheint daher weniger mit belastbaren Prognosen als mit Pfeifen im Walde gemeinsam zu haben. Dies gilt nicht ganz für jene Stimmen, die sagen, auch auf das Speichern von Strom käme es hinfort nicht an. Als Ausdruck der Zuversicht sind sie freilich verfehlt. Die Aussagen sind richtig, wenn sie meinen, dass die zu speichernden Energievolumina – wollte man die Windspitzen speichern und in den Windsenken einspeisen – so gewaltig sind, dass sie für effektive Speicherarten wie Pumpspeicherwerke oder adiabate Druckluftspeicher abgesehen von den geologischen und geographischen Grenzen im ersteren Fall nicht darstellbare Investitionssummen erforderten, andere Speicherprinzipien aber im status nascenti verweilen oder im Kosten-Wirkungsgradverhältnis nicht viel besser sind, als den Strom wegzuwerfen.

Der Stromverbrauch in Deutschland liegt bei etwa 1,6 TWh pro Tag. Bei ausschließlich voll gefüllten oberen Becken liegt die maximale Abgabeleistung unserer Pumpeicherwerke über ganz Deutschland bei etwa 0,04 TWh. Das sind etwa 35 Minuten Blackout-Reserve. Das Vierzigfache an Pumpspeicherkapazität wäre etwa nötig, um einen Tagesenergiebedarf bei Ausfall des Grünstroms zu kompensieren. Dies ist im großtechnischen Maßstab bis auf Weiteres nicht möglich. Man wird also in diesem Fall

1-12_Vaatz.indd 9 25.09.13 14:43

entweder auf Importe zurückgreifen oder drastische Eingriffe bei den Stromkunden vornehmen müssen. Ersteres kann nur gelingen, wenn unsere europäischen Nachbarn dann unseren Bedarf zu decken imstande sind – was nur dann zuverlässig möglich ist, wenn sie – anders als Deutschland – ihre grundlastfähigen Stromerzeuger nicht abgeschaltet haben und genügend Überschüsse produzieren. Letzteres aber ist nur unter Inkaufnahme größerer wirtschaftlicher Schäden mit entsprechenden Haftungen denkbar. Will man beides vermeiden, so erfordert dies die Vorhaltung von Stromerzeugungskapazitäten aus konventionellen Energiequellen – das heißt: Aus Kernkraft oder fossilen Energieträgern. Da das Aufkommen an Wind-oder Solarstrom über Stunden und Tage ganz ausfallen kann, genügt zur Vorhaltung dieser Reservekapazität auch nicht ein kleiner Teil der jetzigen Grundlasterzeugungskapazität, sondern es muss die Fähigkeit zur Bereitstellung der vollen Grundlast stetig im stand-by-modus gehalten werden. Wenn für diesen Zweck keine Kernkraftwerke mehr zur Verfügung stehen, müssen diese Aufgabe andere fossil gefeuerte Kraftwerke (Gas oder Kohle) übernehmen, die zu diesem Zweck erforderlichenfalls neu zu errichten sind.

Mit steigendem Einspeiseanteil an EEG-Strom steigt jedoch nicht nur das Volumen der EEG-Vergütungen insgesamt an und erhöht den Strompreis. Mit der rückläufigen Nachfrage nach Strom aus fossilen Quellen bei der unbedingten Notwendigkeit seiner Vorhaltung müssen die fossilen Kraftwerke entweder mangels Wirtschaftlichkeit schließen oder ihre Preise um die stand-by-Betriebskosten des gesamten Jahres - verteilt auf die im betreffenden Jahr angegebene Strommenge erhöhen – und dies gilt für den gesamten grundlastrelevanten Kraftwerkspark. Will man dies vermeiden, so bleibt nur dessen Verstaatlichung, womit die Mehrkosten statt auf den Stromkunden auf den Steuerzahler entfielen.

5. Zusammenfassung

Sind die energiepolitischen Ziele vernünftig und erreichbar?

Die energiepolitischen Ziele sind vernünftig. Sicherheit und Wirtschaftlichkeit sind unverzichtbare Anforderungen an jede Energieversorgung. Ebenso muss eine Energieversorgung auch umweltschonend sein. Dies gilt insbesondere für die Schonung der natürlichen Ressourcen, denn eine Energieversorgung, die Ressourcen aufbraucht, die sich nicht in der gleichen Zeit regenerieren, ist stets limitiert. Daher ist es nötig, hierzu Alternativen zu erforschen und zu implementieren. Nur entsprechen die dafür vorgegebenen Zeithorizonte willkürlichen Annahmen, die keiner Machbarkeitsüberprüfung standhalten. Der aufgebaute Zeitdruck ist unvernünftig und führt zu unausgereiften Aktivitäten. Über den Ressourcenschutz hinaus ist jedoch der Begriff *umweltschonend* konkretisierungsbedürftig. Hier ist die praktische Politik an willkürlichen Parametern ausgerichtet. Der Atomausstieg und die Klimaschutzabsicht fallen nicht zwingend in die Rubrik *umweltschonend* – wohl aber die Anforderungen der Energieökonomie.

Bewirkt die implementierte Gesetzeslage eine den genannten Anforderungen entsprechende Energiebereitstellung?

Die implementierte Gesetzeslage steht der Erfüllung der energiepolitischen Ziele im Weg und macht das mittelfristige Scheitern der deutschen Energiepolitik unausweichlich.

1-12_Vaatz.indd 10 25.09.13 14:43

Sie bewirkt eine unwirtschaftliche, unsichere und ökologisch unvertretbare Verschwendung von Ressourcen.

- Sie orientiert sich nicht an zweifelsfreien umweltpolitischen Zielen (wie Ressourcenschutz, Umweltökonomie, Wirkungsgradverbesserung, Minimierung des Energieeinsatzes), sondern an ideologisch vorgegebenen und damit fragwürdigen umweltpolitischen Zielen wie Klimaschutz und Atomausstieg.
- Sie hat den Markt eliminiert und ist politisch außer Kontrolle.
- Sie unterbindet die freie Erforschung nachhaltiger Strombereitstellungslösungen, indem sie eine Vorauslese vornimmt und mit ideologisch begründeten Tabus (Nukleare Quellen) und Präferenzen (Wind und Solar) die Variationsbreite einschränkt.
- Sie führt zu einer massiven Kostensteigerung des Stromkonsums ohne zum Stromsparen anzuregen.
- Sie versucht grundlastfähige Verstromungstechnologien durch nicht grundlastfähige zu substituieren, was misslingen wird und
  * den Betrieb zweier nahezu kompletten Stromerzeugungsparallelstrukturen erzwingt,
  * die Kosten den aus der Reservehaltung von Grundlastfähigkeit ständig erhöht,
  * sie erfordert ein Netzregime, das Deutschlands Netz inkompatibel und zu einem Fremdkörper im europäischen Verbund macht.
- Sie erzwingt eine sozial unerträgliche Umverteilung von Mitteln zu Lasten der allgemeinen Stromkunden und zu Gunsten der Alternativanlagenbesitzer
- Sie wird die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands wegen der durch sie entstehenden singulär hohen Energiepreise und der gesteigerten Abhängigkeit vom Ausland massiv beeintächtigen

Gibt es Lösungen?

Die gibt es sicher. Aber für energiepolitisch vernünftige Entscheidungen gibt es leider in Deutschland bis auf Weiteres keine demokratischen Mehrheiten. Ein übermächtiger medial ausgeübter Konformitätsdruck hat die Energiedebatte in von einer wissenschaftlichen Debatte in eine moralisierende Debatte über gut und böse verwandelt. Dieser Zustand ist durch eine von öffentlicher Zustimmung abhängige demokratisch gewählte politische Führung kaum überwindbar, weil schon der Versuch, dies zu tun, im gegenwärtigen Meinungsklima mit hoher Wahrscheinlichkeit für jede politische Kraft, die dies wagt, den Entzug genau dieses Führungsauftrages nach sich zieht. Wirtschaft und Wissenschaft scheuen den Aufwand des Streites und arrangieren sich mit dem Status quo. Trotz möglicher parteiübergreifender Einsicht wird auch die eigentlich notwendige Außerkraftsetzung des EEG wird nicht gelingen. Stattdessen wird man mehr oder weniger umständliche Schadensbegrenzungen versuchen. Weitergehende Eingriffe werden an der Kraft zur Besitzstandsverteidigung der EEG-Privilegierten scheitern. Über wirkliche Auswege aus dem Dilemma der Energiepolitik wird man erst reden können, wenn die gegenwärtig gepflegten Illusionen begraben und die damit verbundene Umverteilung zu einem politischem Ärgernis geworden sind.

1-12_Vaatz.indd 11 25.09.13 14:43

6. Quellen

[1] Vahrenholt, F.; Lüning, S.: Die kalte Sonne

[2] Weimann, J.: Die Klimapolitikkatastrophe – Deutschland im Dunkel der Energiesparlampe

[3] Sinn, H. W.: Das grüne Paradoxon – Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik

[4] http://www.eeg-kwk.net/de/EEG_Jahresabrechnungen.htm

[5] von Hirschhausen, C.; Kemfert, C.; Kunz, F.; Mendelevitch, R.: Studie: Europäische Stromerzeugung nach 2020: Beitrag erneuerbarer Energien nicht unterschätzen. Wochenbericht des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW), Nr. 29.2013, 17. Juli 2013

[6] Sachverständigenrat für Umweltfragen: Wege zu 100 % erneuerbarer Stromerzeugung. Sondergutachten, Jan. 2011

[7] Keil, G.: Das Offshore-Chaos. http://de.scribd.com/doc/109406767/Das-Offshore-Chaos

1-12_Vaatz.indd 12 25.09.13 14:43

Schlagwortverzeichnis

A

Abbrandverhalten 913
Abhitze-Dampfkraftwerk 653
Abwärmenutzung
  anlageninterne 249
Abwärmequellen 657
ADELE-Technologie 803
Aktivierungsenergie 958
Altholz 721
Amine
  Emissionen 316
  filmbildende 533
Aminwäsche 317
Anfahranalysen 541
Anfahrberechnung 38
Anfahrvorgänge 35
  Optimierungsmöglichkeiten 42
Anlagendynamik 761
Anlageneffizienz 138
Annex-Konzepte
  synthesegasbasierte 773
Antriebe
  intelligente 475
Ascheablagerung
  Charakterisierung 151
Auslassverluste 723
Axialdiffusoren 445

B

Batteriespeicher 749
Belagsaufbau 129
Belagsmonitor 129
Beschaufelung 384
Betonwärmespeicher 812
Betriebsdatendiagnose 569
Betriebsflexibilität 423
Bewertung
  bruchmechanische 437
Biomasse 66, 127, 713
Biomasse-Kraftwerke 714, 721
Blindleistungsbedarf 608
Blindleistungsmanagement 601
Blindleistungspotenziale 610
Braunkohle
  Dampfwirbelschichttrocknung 213
Braunkohlebrenner 94
Braunkohlekraftwerke 211
Brennerflamme 106
Brennermodifikation 83
Brennstoffanalyse 155
Brennstoffcharakterisierung 914
Brennstoffdiagnose 115
Brennstoffdosierung 51
Brennstoffeintragsystem 100
Brennstoffe
  biogene 924
Brennstofffeuchte 725
Brennstoffflexibilität 424
Brennstoff-Luft-Stufung
  radiale 94
Brennstoffumschaltung 423
Brüdennutzung 190, 219

C

CAES-Technologie 792
Carbonatisierung 302
Carbon Capture and Storage (CCS) 259
Carnot-Prozess 724
Central Receiver System 691
Cetamine 537
Clausius-Rankine-Prozess 724
CO_2-Abscheideprozesse 289
  Waschmittel 311
CO_2-freie Gesellschaft 1
CO_2-Speicherung
  durch Mineralisierung
    kraftwerksinterner Stoffströme 299
CO_2-Vergasung 948
CO_2-Wäsche 314
CO-Abbrand 95
Compressed Air Energy Storage (CAES) 792
Concentrating Solar Power (CSP) 689
Co-Vergasung 953

D

Dampfeindüsung
  in die Gasturbine 736
Dampfkühlung 463
Dampfleitungen 410
Dampfturbinen 412, 723
Dampfturbinenentwässerung 409
Dampfturbostränge 395
Dampfverluste 409, 415

Dampfwirbelschichttrocknung (DDWT) 211
druckaufgeladene 185, 195
DeNOx-Technologie
für große Verbrennungsanlagen 333
Depositionsbildung 151
Desorptionskinetik
von CO_2 289
Drallbrenner 104
Drehrohrofenanlage 50, 654
Druckflugstromreaktor 945
Druckfluktuationen 204
Druckheißwasserspeicher 764
Druckluftspeicher 845
adiabate 803
Druckrückgewinn 445
Druckspannungen 43

E

Echtzeit-Verbrennungsoptimierung 871
Eckenfeuerung 367
EEG 2, 721
Kosten 4
Effizienz 730
Effizienzsteigerung 196
Eigenbedarf
elektrischer 729
Einspritzkühler 468
Electrical Low Pressure Impactor (ELPI) 65
Emissionsminderung 311
Energien
erneuerbare 1, 641
Energiedichte 840
Energiemix
zukünftiger 556
Energienutzungsgrade 821, 830
Energiepolitik 1
Energiespeicher 791, 804
Integration in ein Kraftwerkskonzept 767
thermische 695, 733
Energiewende 196
Entaschung 719
Entschwefelung 225
Entschwefelungsgrad 231
Entwässerungen 409
Ermüdungsrisswachstum 440
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2, 721
Ersatzbrennstoffe 51, 713

F

Falschfarben-Thermographie 869
Fanglager 407
Fangstoffe aus der Papierindustrie 953
Fast-Fourier-Transformation 204
Fehler
grobe 579
Fernüberwachung 574
Feststoff-Regeneratorwärmespeicher 811
Feststoffspeichermedien 810
Feuerraumkamera 862
Feuerung
Modifikation 77, 94
Feuerungsführung 861
Feuerungskonzept 79
FIELD-Rohr 926
Filmkondensation
von Kohlenstoffdioxid 275
Finite-Elemente-Methoden (FEM) 437
Flamme 861
Flammenauswertung 869
Flammenstabilisierung 94
Flammenstabilität 29, 74
Flexibilisierung 185, 192, 196, 557, 733
Flexibilität 53, 212, 424, 463
Flottenüberwachung 615
Flugstromvergasung 941
Fluid-Fluid-Resonanz 505
Fluid-Struktur-Resonanz 506
Flüssigluftenergiespeicherung 791
Förderung
kavitationsfreie 493
Fraktionsanalyse 206
Freileitungen 638
Fresnel-Kollektor
linearer 696
Frischholz 721
Frontfeuerung 367

G

Gas-Gas-Trennprozess 243
Gasturbine 423, 433
hydraulische Spaltoptimierung 623
Generator 883
Generatorschäden 886
Gesamtquecksilber
klassische Messverfahren 323

Getriebe
fluidisches 478
Goldfalle 324
Grabenbunker 175
Grundlastfähigkeit
von Sonnen- und Windstrom 7
Grundöl 519
GUD-Kraftwerke
Flexibilisierung 735

H

H_2O-/CO_2-Vergasung 941
kombinierte 950
Heatmap-Risikomatrix 815
Heizwertkorrektur 31
Henry-Löslichkeiten 292
Hochdruckdampfturbinen 379
Hochdruck-Hochtemperatur-
Flugstromvergaser 946
Hochdruck-Pyrolyse 941
Hochdruckthermowaage 946
Hochdruckwärmespeicher 812
Hochleistungswäscher 347
Hochspannungsnetz 606

I

IGCC-CCS-Kraftwerke
Wirkungsgradpotential 262
IGCC-Kraftwerke 259, 942
Industriedampfturbinen 403
Inertialimpaktion 159
Infrastruktureinrichtungen 632
Inselanlagen 780
Inspektions- und Wartungsintervalle 434
Instandhaltung 555
strategische 562
Integrated Gasification Combined Cycle
(IGCC) 259, 942
Integrated Solar Combined Cycle (ISCC) 679
IR-Thermografiemesssystem 107

K

Kalt-Anfahrvorgang 40
Kalzinierung 232
Katalysator 344
Kavitation 490
Kesselbunker 173
Kesselreinigung
intelligente 139
Kesselschutz 31
Kesselverhalten 27
Kesselwirkungsgrad 728
Kohlendioxidwärmenutzung 255
Kohlenstaubverteilung 85
Kohletransportinfrastruktur 170
Kondensat 409
Kondensatableiter 414
Kondensatförderung 489, 497
Kondensationsdruck 726
Kondensator 726
Kondensatschnellschlussventile 475, 481
Konservierung 686
im Abfahrprozess 547
von Kesselanlagen und Turbinen 543
Korrosionspotential 115
Kraft-/Wärmekopplung 721
Kraftwerke 596
konventionelle 196
Kraftwerksindustrie 50
Kraftwerkspark
deutscher 591
Kraftwerksstaubfeuerung 65
Kreiselpumpe 494
Kreislaufkonservierung 547
Kuppelstellenkapazitäten 591

L

LAES-Technologie 792
Lastwechselgradienten 35
Lebensdauersicherung 761
Lebensdauerverlängerung
von Gasturbinen 433
Leistungsfrequenzregelung 750
Linearantrieb
elektrohydraulischer 483
Linear Fresnel System 690
Low Varnish-Öle 517

M

Magnetlager 403
Mahltrocknung 86

Market Couplings 591
Maschinenrichtlinie 2006/42/EG 397
Maschinensicherheit 396
MEA 290, 311
Mehrstoffbrenner 70
Membrankonzepte 237
Messdatenvalidierung 579
Mindestfeuerleistung 29
Mindestlast 198
  Senkung 23, 761
Mindestlastauslegung 25
Mindestlastbetriebsweise 26
Mineralisierung
  alkalischer Reststoffe 299
Mineralumwandlung 152
Mittelspannungsnetze 605
Mitverbrennung
  von Biomassen 65
Modellierung 57
Monitoring 570
Monitoring- und Diagnosesysteme 881
Mühlenbetrieb 27

N

Nass-REA
  Weiterentwicklung 347
Naturumlaufprinzip 35
ND-Dampfturbinen 379
ND-Regeneratorwärmespeicher 810
Netzausbau 607
Netzeingriffe 824
Netzentwicklungsplan 641
Netzlast
  vertikale 751
Netzoptimierung 607
Netzplanung 604
Netzstabilität 749
Netzverstärkung 607
Niederspannungsnetze 604
Niedertemperatur-Abwärme 665
Niveausonde 414
NO_x-Abscheidung 365
NO_x-Minderung
  bei kritischen Kohlequalitäten 91

O

Oberfläche
  hydrophobe 545
Octadecylamin 543
Offshore-Windenergie 8
Online-Monitoring- und Diagnosesystem 881
On-load Kesselreinigung
  intelligente 137
Openstreetmap 643
Organic Rankine Cycle (ORC) 665, 740
  Nettoleistung 671
Oxyfuel-Bedingungen 130, 225
Oxyfuel-Dampfkraftwerk
  membranbasiertes 235
Oxyfuel-Technologie 99
Oxyfuel-ZWSF 225

P

Parabolrinnen-Kraftwerke 690
Parabolspiegel 691
Partikelbildung
  und -freisetzung 120
Partikelgitternetzsonde 115
Physical Model Predictive Control
  (PMPC) 872
Plattenschieber 483
Polygeneration 259
Power Island 797
Power-to-Gas 842
Prallhammermühle 199
Primär-Rauchgasrückführung 247
Primärregelleistung 750
  aus Batteriespeichern 755
Prozessdampfauskopplung 728
Prozessdatenanalyse 569
Prozessgüte-Überwachungssystem 615
Prozessinformationssystem 569
Prozessleittechnik 559
Prüfungen
  zerstörungsfreie 437
Pyrit 152
Pyrolyse 948
Pyrolyseumsatz 943

Q

Quecksilber
  Amalgamierung 324
  kontinuierliche Messung 323
  Messung im Rohgas 321

R

Radialkühler 466
Rauchgasentschwefelung
nasse 347
Rauchgaskühlung
selektive 374
Rauchgas-LuVo 727
Rauchgasrückführung 245
Rauchgaswärmenutzung 251
Reaktionskinetik 953
Reaktionsordnung 962
Reaktionsrate 958
Reaktionszeit 840
Reduktionsmittel 335
Regel-Armaturen 475
Regelkraftwerk
virtuelles 750
Regelleistung 752
Regelung
modellbasierte prädiktive 871
Regeneratorwärmespeicher 811
Repowering
solares 677
Residuallast 591, 821
Resonanzschwingungen 505
RGB-Thermografie-Messsysteme 107
Ringdiffusor 448
Risiko 13
Risikoanalyse 433
Risikoassessment und -management 814
Risikobeurteilung 435
Risikograph 399
Rohkohlefeinmahlung 199
Rohkohleverteilung 200
Rohrkugelmühle 81
Rohrleitungsentwässerungen 409
Rohrsysteme
Schwingungen 501
Rohrwaagen-System 49
Rostbelag 715
Rostfeuerung
luftgekühlte 714
wassergekühlte 714
Rostkühlung 728
Rußbläser 146

S

Salzschmelze 696
Sauerstoffwärmenutzung 253
Schäden
durch Resonanzschwingungen 503
Schmierstoffmarkt 517
Schutzfilm 545
Schwachlast 54
Schwefeleinbindung 225
Schwingungsanalyse 572
Schwingungsphänomene
im Rohrsystem 501
SCR-Verfahren 333
Seitenwandluftsysteme 94
Sekundärbrennstoffe 51, 713
Sekundär-Rauchgasrückführung 247
Selbstentladung 794
Selbstentladungsrate 841
Selbstregelung 494
Sichelverdränger 86
Sicherheit
funktionale 398
Sicherheitsabstände 633
Simulation
dynamische 55
SNCR-Verfahren 333, 363
Solar-Hybrid-Kraftwerke 678
Solar Integrated Combined Cycle (ISCC) 689
Solarkraftwerk 690
direktverdampfendes 695
Solarstromprognose 828
Solarwärmeeinkopplung
in ein bestehendes fossiles Kraftwerk
677, 681
Speichenrad 448
Speicherbehälter 793
Speicherbrennstoff 787
Speichergröße 793
Speichersystemwirkungsgrade 838
Speichertechnologien 761
Speicherung
elektrischer Energie 821
Speisewasservorwärmung
regenerative 725
Spitzenlastbereitstellung 761, 779
Sprüh
polydisperser 466
Sprühwäscher 347
Stabilität
von elektrischen Netzen 752
Stabkühler 467
Stand der Technik 655
Standkonservierung 546

Start-/Stop-Vorgänge 597
Staubleitung 92
Steam Injected Gas Turbine 736
Stillstandskonservierung 534
Stillstandskorrosion 548
Stoffe
  grenzflächenaktive 544
Störfälle
  brennstoffinitiierte 178
Strahl-/Drall-Brenner
  kombinierter 104
Stromgestehungskosten 696
Synthesegas 941
synthesegasbasierte Annex-Konzepte 773
Systemdienstleistungen 749
Systemvergleich 695
Systemzeitkorrekturen 758

T

Teillastzustände 501
Temperaturmessung (2D) 871
Temperaturschieflagen 370
Temperaturspannungen 43
Temperaturverteilung
  Optimierung 874
Thermographie 861
  Auswertung 866
  bildverarbeitende 863
Thermopotentialspeicher 740, 847
Thermoschockrisse 413
Trockenbraunkohle 99, 191, 193, 196
Trockenbraunkohle-Brenner 102
Trockenbraunkohle-Speicher 766
Trocknerauslegung 187
Trocknung 196, 728
  von Braunkohle 213
Turbinenkennlinien 385
Turbinenöle 517
Turbinenregler 475
Turbogenerator 881
Turbomaschine 397

U

Überschussstromeinbindung 259
Usbekistan 677

V

Vakuumsauger
  mit mehrstufiger Zwischenkühlung 243
VDI-Richtlinie 2048 579
Verflüssigung von Luft 795
Ventilation 379
Verbrennungsluftvorwärmung 725, 729
Verbrennungsluftführung 84
Verbrennungsluftversorgung 718
Verbrennungsoptimierung 873
Verflüssigung von CO_2
  aus Oxyfuel-Rauchgasen 275
Vergasung 944, 953
Verschlackung 115, 867
Verschmutzung 115
Verschmutzungs- und
  Verschlackungsneigung 151
Verteilnetzbetreiber 609
Verteilnetze 601
Video-/Thermographie-Auswertung 868
VIS-Kamera 65
Volllaststunden 597
Vormischbrenner 105
Vorschubrost 713

W

Wabenkatalysator 344
Wärmepumpe 740
Wärmespeicher 736
Wärmespeicherdesign 810
Wärmespeicherdruckbehälter 811
Wärmestromdichte 118
Wärmeübergangskoeffizienten 275
Wärmeversorgung
  dezentrale 190
Wartungsintervalle 434
Waschkolonne 313
Windeignungsflächen 642
Windenergieanlagen 8
  Sicherheitsabstände zu
    Infrastruktureinrichtungen 631
Windgradienten 196
Wirbelschicht 200
Wirbelschichtfeuerung
  zirkulierende 225

Wirbelschichtzustand
Messsystem zur Bewertung 204
Wirkungsgrad 559
Wirkungsgradsteigerung 185, 235

Z

Z-Algorithmus 579
Zellradschleuse 101
Zementindustrie 50, 655
Zementwerk 653, 657
Zündbrenner 106
Zündofen 915
Zünd- und Abbrandverhalten
von staubförmigen Brennstoffen 913
Zündung 915
Zündverzögerungen 921
Zustandsinformationen 578
Zustands-/Lebensdauerbewertung 433, 438
Zustandsüberwachung 570, 881
Zwangdurchlaufbetrieb 31
Zwischenüberhitzung 725

Inserat Energie aus Abfall links

Inserat Erneuerbare Energien rechts

Inserat Dezentrale Energie-versorgung links

Inserat Recycling und Rohstoffe rechts

Inserat
Aschen
Schlacken
Stäube
links

Inserat Immissions-schutz rechts

Inserat Wärmestrom-messung links

Inserat Ersatzbrenn-stoffe in Kohle-kraftwerken rechts

Inserat Emissions-bezogene Energiekenn-zahlen links