Rudi Karpf

Emissionsbezogene Energiekennzahlen

von Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung



TK

Für Jana, Oxana und meine Eltern

Rudi Karpf

Emissionsbezogene Energiekennzahlen

von Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Emissionsbezogene Energiekennzahlen von Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung
Rudi Karpf.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012
ISBN 978-3-935317-77-1

ISBN 978-3-935317-77-1 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

zugleich Dissertation *Ermittlung von emissionsbezogenen Energiekennzahlen von Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung*
an der Technischen Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 2011
Copyright: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2012
Layout: Sandra Peters
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München
Bild auf dem Buchdeckel: Stephan Specht

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

1 Einleitung und Zielsetzung 1

2 Kontextthemen 3

2.1 Literaturübersicht 3

2.2 Diskrepanz der Emissionsanforderungen durch die einzelnen Gesetze und Verordnungen 6

3 Merkmale der Abgasreinigung 13

3.1 Abgasreinigungsverfahren und -komponenten 13

3.2 Verfahrenseinteilung und -beschreibung 14

3.2.1 Konditionierte Trockensorption mit Kalkhydrat und SNCR-Verfahren (V1) 16

3.2.2 Konditionierte Trockensorption mit Kalkhydrat und SCR-Verfahren (V2) 19

3.2.3 Konditionierte Trockensorption mit Kalkhydrat, nachgeschaltetem Wäscher und SNCR-Verfahren (V3) 20

3.2.4 Zweistufige Trockensorption mit Kalkhydrat und Bicarbonat, SCR-Verfahren (V4) 20

3.2.5 Zweistufigen Wäscher mit Sprühtrockner, Gewebefilter und SNCR-Verfahren (V5) 21

3.2.6 Zweistufigen Wäscher mit Sprühtrockner, Gewebefilter und SCR-Verfahren (V6) 22

3.2.7 Energieoptimierte Konditionierte Trockensorption mit Kalkhydrat und SNCR-Verfahren (V1‘) 22

3.2.8 Energieoptimierte Konditionierte Trockensorption mit Kalkhydrat, nachgeschaltetem Wäscher und SNCR-Verfahren (V3‘) 24

4 Energiebedarf in der Abgasreinigung 27

4.1 Grundlagen der Bilanzierung 27

4.2 Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung von Abgasreinigungssystemen 31

4.2.1 Methodik zur Ermittlung des KEA_H 32

4.2.1.1 Bilanzgrenzen 32

4.2.1.2 Erstellung der Massenbilanzen 32

4.2.1.3 Erstellung der Energiebilanzen 33

4.2.2 KEA_H für verschiedene Abgasreinigungssysteme 34

4.3 Kumulierter Energieaufwand für den Betrieb/Nutzung von Abgasreinigungssystemen 36

4.3.1 Abhängigkeitsbetrachtung des Energiebedarfs 38

4.3.1.1 Abscheideleistung/Schadstoffe 39

4.3.1.2 Abgaseigenschaften ... 39
4.3.1.3 Stöchiometriefaktor ... 41
4.3.1.4 Druckverlust ... 43
4.3.2 Methodik zur Ermittlung des KEA_N ... 46
4.3.2.1 Bilanzgrenzen ... 46
4.3.2.2 Erstellung von Massenbilanzen ... 48
4.3.2.3 Erstellung von Energiebilanzen ... 49
4.3.3 KEA_N für verschiedene Abgasreinigungssysteme ... 50
4.4 Kumulierter Energieaufwand zur Entsorgung von Abgasreinigungssystemen ... 54
4.4.1 Methodik zur Ermittlung des KEA_E ... 54
4.4.1.1 Bilanzgrenzen ... 54
4.4.1.2 Erstellung der Massenbilanzen ... 54
4.4.1.3 Erstellung der Energiebilanzen ... 54
4.4.2 KEA_E für verschiedene Abgasreinigungssysteme ... 55
4.5 Gesamter Kumulierter Energieaufwand von Abgasreinigungssystemen ... 56

5 Ermittlung emissionsbezogener Energiekennzahlen ... 63

5.1 Emissionsbezogene Energiekennzahlen ... 63
5.2 Energieäquivalente Emissionsfaktoren ... 65

6 Diskussion der Ergebnisse ... 71

6.1 Kumulierter Energie Aufwand für Herstellung und Entsorgung ... 71
6.2 Kumulierter Energie Aufwand für die Nutzungsphase ... 71
6.3 Energiebilanz für unterschiedliche Schadgasbelastungen ... 73
6.4 Energiekennzahlen ... 73
6.4.1 Kennzahl K-Anlagentechnik ... 74
6.4.2 Kennzahl K-Additiv ... 74
6.4.3 Kennzahl K-Betrieb ... 75
6.5 Energieäquivalente Emissionsfaktoren ... 75
6.6 Fazit ... 75

7 Zusammenfassung ... 77

8 Literaturverzeichnis ... 81

9 Symbolverzeichnis ... 85

10 Anhang 91

10.1 Massen- und Energiebilanz für die Ermittlung KEA_H 92

10.2 Prozessparameter zur Bilanzierung von KEA_N 104

10.3 Massen- und Energiebilanz für die Ermittlung KEA_N 108

10.4 Massen- und Energiebilanz für die Ermittlung KEA_E 116

Danksagung 131

Inserentenverzeichnis 135

Schlagwortverzeichnis 139

2 Kontextthemen

Um der Frage der Abhängigkeiten der verschiedenen Emissionsminderungsmöglichkeiten und den damit in Verbindung stehenden Energieaufwendungen umfassend nachzugehen, soll zunächst ein Überblick über die in dem Zusammenhang stehende Literatur sowie über die bisherigen Bewertungen gegeben werden. Somit erfolgt eine klare Abgrenzung der vorliegenden Arbeit zu den bestehenden Untersuchungen und Publikationen. Ein weiterer Aspekt der Emissionsminderung, insbesondere der des Emissionsniveaus bei Abfallverbrennungsanlagen, wird im Zusammenhang zu den übrigen Energieerzeugungsanlagen und deren Emissionsniveaus betrachtet und erläutert.

2.1 Literaturübersicht

Die Erstellung ganzheitlicher Energieuntersuchungen von Gütern und Dienstleistungen im Rahmen von Prozesskettenanalysen erfolgt meist anhand der Ermittlung des Kumulierten Energieaufwands (KEA), der auch der vorliegenden Bestimmung der emissionsbezogenen Energiekennzahlen zugrunde liegt. Die wissenschaftliche Grundlage für die Definition und Ermittlung des KEA wurde in der Dissertation [3] von Mauch erarbeitet und diente letztendlich als Basis zur Erstellung der VDI-Richtlinie 4600 „Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden“ [4]. Per Definition beschreibt der Kumulierte Energieaufwand die Summe aller primärenergieseitigen Aufwendungen, die zur Herstellung (KEA_H), Nutzung (KEA_N) und Entsorgung (KEA_E) eines Produktes oder Dienstleistung aufgebracht und zugewiesen werden können. Es ist dabei anzugeben, welche Prozessschritte der primärenergieseitigen Aufwendungen einbezogen sind.

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E \quad (1)$$

Grundlage für die Ermittlung des KEA ist die eindeutige Festlegung von Bilanzgrenzen, in denen die grenzüberschreitenden Stoff- und Energieströme exakt zu definieren und zu quantifizieren sind. Die Abgrenzungen werden nach zeitlichen, örtlichen und technologischen Kriterien vorgenommen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass es einen erheblichen Aufwand und detaillierter Sachkenntnis erfordert, den Bilanzraum so zu gestalten, dass Fehler durch Vernachlässigungen, Ausgrenzungen und Abschätzungen klein bleiben (vgl. [4]).

Die Festlegung von Bilanzräumen sowie die Erstellung der Massen-, Stoff- und Energiebilanzen werden für die Abfallbehandlung in thermischen Verfahren in [5], [6] und [7] ausführlich beschrieben und bilden die Grundlage für die Ermittlung des KEA. In [8] werden weitere Ansätze und Analysen zu wissenschaftlich-technischen Bewertungsmethoden für Abfallbehandlungsverfahren eingehend dargestellt, die für die Bestimmung des KEA von Bedeutung sind.

Der Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der Technischen Universität München sowie die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) haben schon sehr früh begonnen, ganzheitliche Energieanalysen für Güter und Dienstleistungen im Rahmen von Prozesskettenanalysen, zu erstellen. So wurde in [3] unter anderem für das Müllkraftwerk Geiselbullach der spezifische kumulierte Energieaufwand (KEA) für die Erstellung (vgl. Bild 1) mit 62 $MJ/Mg_{Müll}$[1] und 73 $MJ/Mg_{Müll}$ für den Betrieb der Anlage beschrieben. Der spezifische KEA der MVA München-Nord wurde dagegen mit 174 $MJ/Mg_{Müll}$ angegeben.

[1] Die Angaben $Mg_{Müll}$ beziehen sich auf den verbrannten Müll bei einer jährlichen Gesamtmüllmenge von 107.000 Mg und einer Anlagenlebensdauer (Bilanzzeitraum) von 20 Jahren [3].

Die angeführten Energieaufwendungen sind umfassend für die kompletten Abfallbehandlungsanlagen ermittelt, jedoch sind keine gesonderten Angaben zu den Abgasreinigungseinrichtungen vorgenommen worden.

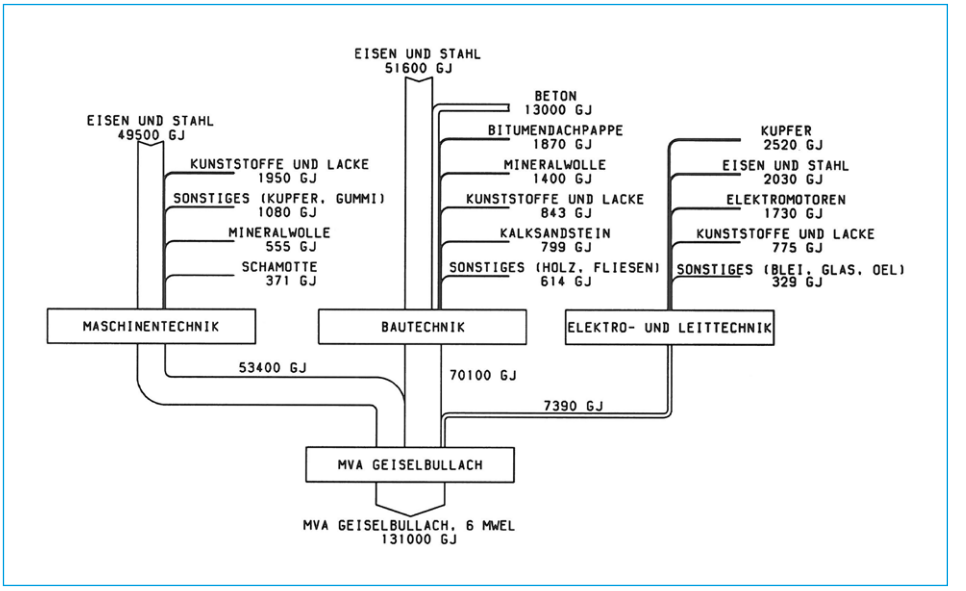


Bild 1: KEH_H für den Bau des Müllkraftwerks Geiselbullach [3]

Das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW) hat im Jahr 2001 einen Bericht [9] veröffentlicht, in dem der Frage nachgegangen wurde, inwieweit sich einstufige bzw. simultan wirkende Verfahren bei der Abgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen, wie sie zum damaligen Zeitpunkt fast ausschließlich bei neuen Projekten eingesetzt wurden, auf die Emissionen auswirkt. *„Das konkrete Ziel dieser Untersuchung war es, neben einer Übersicht über die eingesetzten und auch geplanten Abgasreinigungssysteme bei Abfallverbrennungsanlagen, die Vor- und Nachteile von drei beispielhaft ausgewählten Systemen in einem ökologischen und ökonomischen Vergleich knapp und begrenzt darstellen zu lassen. Als Ergebnis wurden die Auswirkungen der unterschiedlichen Verfahren auf die Frachten der emittierten Schadstoffe unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Energieverbräuche ermittelt und dargestellt. Die ausgewählten Verfahren wurden in drei Kategorien eingeteilt, wobei das Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen Kategorie a einerseits und den Kategorien b und c andererseits die Verwendung eines Wäschersystems darstellt. Die Kategorie b und c unterscheiden sich wiederum durch die möglichst vollständige Verwertung von Produkten der Abgasreinigung durch Weiterverarbeitung zu marktgerechten Handelsprodukten wie etwa Salzsäure“* [9].

Für eine fest definierte Anlagengröße und Schadstoffkonzentrationen wurden die einzelnen Betriebsmittelverbrauchswerte für Kalk, elektrische Energie, ND-Dampf und Erdgas ermittelt. Über die Bildung von Energieäquivalenten und der Berücksichtigung des Strommix bei der Stromherstellung sind die extern freigesetzten Emissionen bestimmt und gegenübergestellt worden. In dieser energiebezogenen Emissionsbetrachtung wurde nur der Betrieb und nicht die Errichtung sowie Entsorgung der Anlagen berücksichtigt. Ebenso wurden keine Berechnungen und Bewertungen der Energieaufwendungen bei unterschiedlichen Schadstoffkonzentrationen und Emissionswerten vorgenommen.

Es werden die Mehremissionen der einzelnen Kategorien der Abgasreinigungsanlagen für die zugrunde gelegte Auslegungsgröße von 100.000 m³/h Abgasvolumenstrom gegenübergestellt und die Mehremissionen der jeweiligen Anlage mit den externen Mehremissionen (durch Betriebsmittel und Energie) gegeneinander verrechnet. *„Im Ergebnis zeigt sich – mit Ausnahme des Schadstoffs Schwefeldioxid – netto regelmäßig eine Mehrbelastung durch die Emissionen der einfachsten Anlage (Kategorie a)“* [9].

Tabelle 1: Mehremissionen der einzelnen Kategorien der Rauchgasreinigungs (RGR)-Anlagen und der Verrechnung der externen Mehremissionen[2] [9]

Schadstoff	NO_x	HCl	SO_2	HF	Hg	TE
Mehremission durch einfache RGR a vor Ort pro Stunde gegen b und c	7 kg	2 kg	100 g	10 g	0,8 g	1 µg
	10 kg	2,2 kg	150 g	10 g	0,9 g	1 µg
Externe Mehr-Emission durch 260 kWh **Energieäquivalent** (Kategorie b) und 1.285 kW (Kategorie c) (in einer Stunde)	237 g	5 g	108 g	309 mg	2,4 mg	2,1 ng
	1,17 kg	24,5 g	533 g	1,53 g	12,1 mg	10,3 ng
Netto-Mehremission durch einfache RGR a pro Stunde gegen b und c	6,763 kg	1,995 kg	8 g*	9,69 g	0,798 g	0,998 µg
	8,83 kg	2,175 kg	383 g*	8,5 g	0,888 g	0,99 µg

* Minderemission durch Kategorie a

Die vorgenommene ökologische Bewertung der drei verschiedenen Abgasreinigungsverfahren führte zu einer deutlichen Schadstoffminimierung bei der Verwendung aufwändigerer Verfahren. Dieser ökologische Vorteil wurde in der Studie jedoch durch die Unbedenklichkeit der Immissionen relativiert, die durch das einfache Abgasreinigungsverfahren, welches ebenfalls die Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV deutlich und sicher unterschreitet.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurde eine Studie [10] von dem Institut für Energie- und Umweltforschung (ifu) mit dem Titel „Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz“ erstellt. Ziel der Untersuchung war es, das Potenzial und die Erfordernisse der vollständigen, hochwertigen Verwertung im Sinne des Ziels 2020 aufzuzeigen und vor dem Hintergrund des Klimaschutzes wie auch weiterer Umweltschutzaspekte zu bewerten. Hierfür wurden unter anderem in Form eines Screenings die ca. 70 Abfallverbrennungsanlagen in Deutschland analysiert. Eine erste wesentliche Aussage hierzu war, dass keine Beziehungen zwischen Reinigungstechniken und Emissionswerten oder Emissionswerten und Energieeffizienz hergestellt werden konnte. Die Zusammenhänge wurden als zu komplex bewertet, um mit einfachen Kategorien wie z.B. nasse-/trockene Verfahren oder Wanderbettfilter/Flugstromadsorber Leistungsmerkmale verbinden zu können. Auch die Höhe des Energiebedarfs konnte anhand der empirisch ermittelten Werten nicht systematisch mit Verfahrensarten in Korrelation gebracht werden. Es wurde festgestellt,

[2] „TE“ steht für Toxizität Äquivalent der Dioxin-/Furan Konzentrationen

dass die spezifische Prozessführung und der Verfahrensaufbau sowie Alter und Größe der Anlagen weit ausschlaggebender für die umweltbezogene Leistung sind, als die Typologie der installierten Technik. Aus diesem Grund wurde eine detaillierte Analyse anhand eines Rechenmodells von vier Bespiel-MVA mit dem Ziel vorgenommen, die stoffliche und energetische Verwertung im Zusammenhang mit den anlageneigenen Emissionen zu bewerten. Als Leitindikatoren wurden CO_2 (fossil), NO_x, sowie Quecksilber und Cadmium gewählt. Betriebsmittel- und externe Energieverbräuche wurden dabei genauso berücksichtigt wie die eingesparten Emissionen durch die Substitution von primären Rohstoffen und Energieträgern [10].

Die vier Anlagen wurden ausgewählt mit Blick auf eine hohe Erfüllung der stofflichen und energetischen Nutzung sowie der Emissionsminimierung, wobei in einem Fall als Vergleichsanlage eine mäßige Erfüllung dieser Aspekte zugrunde gelegt wurde. Im Ergebnis zeigen die drei fortschrittlichen Anlagen über die gesamte Breite der Indikatoren eine insgesamt die Umwelt entlastende Bilanz. Die vermiedenen Emissionen sind stets höher als die selbst verursachten.

Im Rahmen der stofflichen Bewertung wurde die Erzeugung von differenzierten und spezifizierten Stoffströmen mit hochwertigem Verwertungspotential (Gips, Salzsäure etc.) im Sinne einer nachhaltigen Stoffwirtschaft prinzipiell positiv beurteilt. Das bedeutet, hierüber primäre Ressourcen zu schonen und endliche Ablagerungsräume adäquateren Materialströmen zu überlassen. Diesem Punkt ist jedoch angesichts der eher geringen Massenströmen und der kaum gegeben Klimarelevanz eine untergeordnete Priorität zuzusprechen [10].

Ein weiterer Versuch zur Bestimmung der Energieeffizienz bei der Abgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen wurde von [11] vorgenommen. Am Beispiel einer Musteranlage sind verschiedene energetische Kennzahlen ermittelt und gegenübergestellt worden. Für die Bilanzierung wurden lediglich die Energieströme zugrunde gelegt, jedoch keine Primärenergieaufwendungen weiterer Stoffströme, wie z.B. die der Additive, berücksichtigt. Zusammenfassend wurde die Aussage getroffen, dass Änderungen in der Abgasreinigung hauptsächlich zu einer Änderung des elektrischen Energiebedarfs führen.

Im Rahmen von Lebenszyklusanalysen (LCA) wurde für andere Energieerzeugungs- bzw. Energiewandlungsanlagen der energetische Aufwand ermittelt. So wurde z.B. der bauliche Aufwand sowie deren ökologische Bedeutung einer Aminwäsche zur CO_2-Abscheidung hinter kohlebefeuerten Kraftwerken bewertet. Die IfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft hat eine ganzheitliche energetische Bilanzierung der Energiebereitstellung vorgenommen. In diesem Zusammenhang wurden auch die Emissionen der Strombereitstellung aus thermischen und nuklearen Kraftwerken ermittelt [12]. Die Bandbreite der untersuchten Kraftwerke erstreckt sich von Kernkraft- über Stein- und Braunkohle- bis hin zu GuD- und Blockheizkraftwerken. Die Energiebereitstellung durch Abfallverbrennungsanlagen wurde nicht berücksichtigt.

2.2 Diskrepanz der Emissionsanforderungen durch die einzelnen Gesetze und Verordnungen

Mit zunehmender Industrialisierung und fortschreitendem Wirtschaftswachstum in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts nahm die Luftverschmutzung immer weiter zu,

bis deren Auswirkungen wie das Waldsterben oder der sichtbare Angriff von Bausubstanzen für Jedermann wahrnehmbar wurden. Der Gesetzgeber reagierte darauf mit der Erstellung und Verabschiedung von entsprechenden Richtlinien und Verordnungen zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten für die unterschiedlichsten Emissionsverursacher. Dazu zählten neben den damaligen Hauptverursachern der Kraftwerkswirtschaft auch zahlreiche rohstoffverarbeitende Industriebreiche wie z.B. die Eisen- und Stahlindustrie aber auch bis hin zu Kleinunternehmen wie z.B. Druckereibetriebe. Mit der Verabschiedung der ersten TA Luft im Jahre 1974 wurden die Emissionsgrenzwerte der verschiedenen Luftschadstoffe einhergehend mit dem Entwicklungsstand der jeweiligen Abgasreinigungstechnologien immer weiter reduziert bzw. die Anzahl der emissionsbegrenzenden Schadstoffe erweitert und bis zu den heutigen IVU-Richtlinien fortgeschrieben.

Die Entwicklung der gesetzlich vorgeschriebenen Emissionsbegrenzungen bei der Abfallverbrennung im Vergleich zu anderen Emissionsverursachern unterlag sowohl im Emissionsniveau als auch im Umfang der zu erfassenden und zu reduzierenden Luftschadstoffe den größten Veränderungen. Der Grund dafür ist sicherlich mitunter in der fehlenden Akzeptanz der Abfallverbrennung und dem daraus resultierenden politischen Druck zu suchen. Dank der technischen Entwicklungen der einzelnen Abgasreinigungsverfahren ist das Emissionsniveau hinter Abfallverbrennungsanlagen deutlich niedriger als z.B. bei Kraftwerksanlagen. Das führte nun dazu, dass es bei einzelnen Schadstoffen wie z.B. für das Schwefeldioxid (SO_2) eine erhebliche Diskrepanz zwischen den unterschiedlichen Richtlinien und Verordnungen in der Festschreibung der Emissionsgrenzwerte gibt.

Für einen direkten Vergleich der Emissionsgrenzwerte muss zunächst eine gemeinsame Basis geschaffen werden, da die jeweiligen Richtlinien und Verordnungen sich auf abweichende Rahmenbedingungen beziehen. So werden z.B. in der TA-Luft und in der 13. BImSchV die Emissionsgrenzwerte für Klein- bzw. Großfeuerungsanlagen nach dem Aggregatzustand (fest, flüssig und gasförmig) des Brennstoffs, des Brennstofftyps (Steinkohle, Braunkohle, etc.) als auch nach Feuerungswärmeleistungsklassen (FWLK) unterschieden. Da Abfall, mit Ausnahme von Sonderabfällen, als fester Brennstoff eingestuft werden kann, ist ein immediater Vergleich mit anderen festen Brennstoffen für jeweils einen ausgewählten Schadstoff durchaus zulässig. Um eine Vergleichbarkeit in Bezug auf die Feuerungswärmeleistung zu schaffen, wurden die Daten (vgl. Bild 2) der in Deutschland in Betrieb befindlichen Abfallverbrennungsanlagen zugrunde gelegt. Circa zweidrittel aller Anlagen haben eine Feuerungswärmeleistung zwischen 50 MW und 250 MW, wogegen alle übrigen unterhalb 50 MW liegen.

Das bedeutet, dass ein Vergleich der Emissionsgrenzwerte gemäß 17. BImSchV mit denen der 13. BImSchV für die FWLK 50 MW < FWL < 300 MW sowie für eine FWL < 50 MW gemäß TA Luft vorgenommen werden kann. Bei dem Vergleich der Tagesmittelwerte (TMW) ist in Tabelle 2 zu erkennen, dass bei den Schadstoffen Staub, Schwefeldioxid (SO_2) und Kohlenmonoxid (CO) Abweichungen um ein Vielfaches vorliegen. Dass der Emissionsgrenzwert für Staub in der 17. BImSchV um 50 % niedriger ist als der der 13. BImSchV und der TA Luft ist durchaus berechtigt, da viele Schwermetalle und Spurenelemente partikulär gebunden sind. Dagegen ist der Unterschied für den SO_2-Emissionsgrenzwert nicht verständlich, der um den Faktor vier (z.T. noch größer) in der 17. BImSchV im Vergleich zur 13. BImSchV und der TA Luft niedriger ist. Auch in der neuen europäischen Richtlinie über Industrieemissionen (IED) vom 24. November 2010 [14] wird diese Differenzierung im Ansatz fortgesetzt.

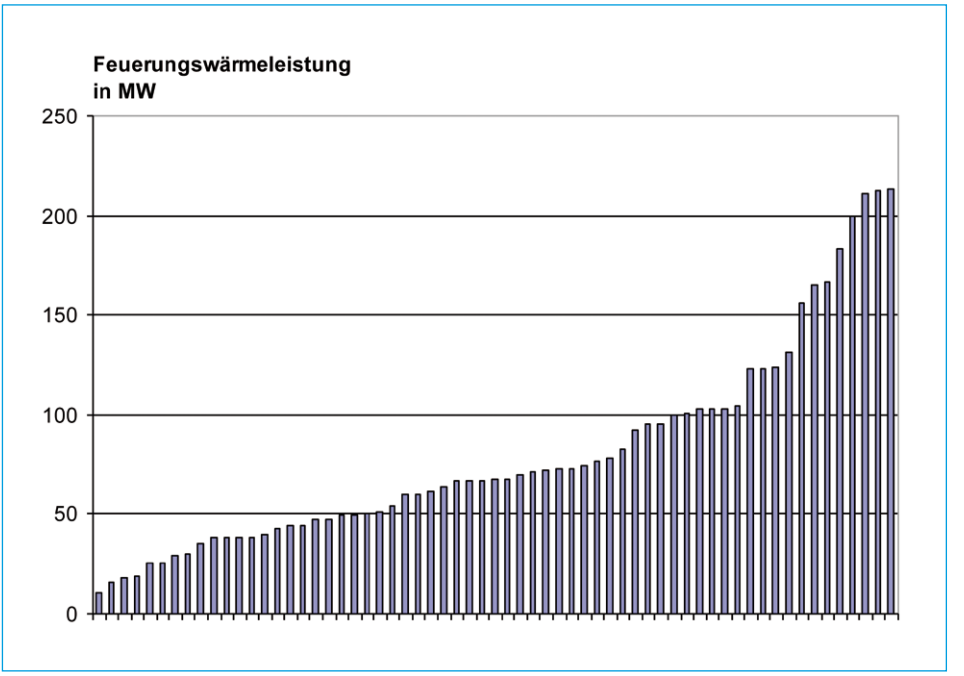


Bild 2: Feuerungswärmeleistung thermischer Behandlungsanlagen für Siedlungsabfälle in Deutschland Stand 2006 [13]

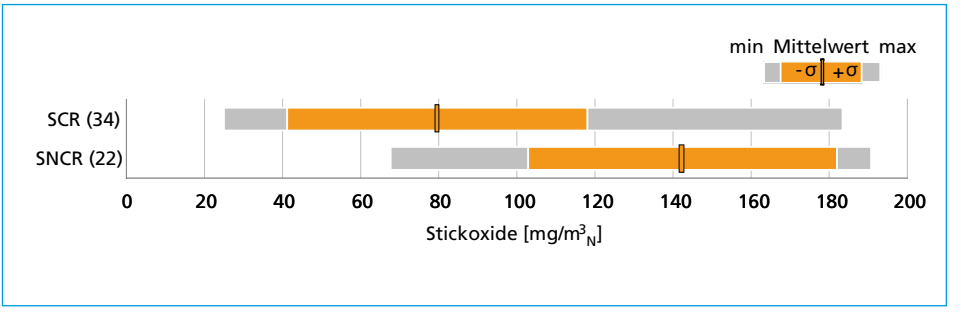


Bild 3: Vergleich der katalytischen (SCR) und nicht katalytischen (SNCR) selektiven Abgasentstickung (Anzahl der Anlagen in Klammern) [18]

Stellt man die in der Praxis tatsächlich vorliegenden Emissionen den Grenzwerten der 17. BImSchV gegenüber, so liegen diese nochmal um ein Vielfaches niedriger (vgl. hierzu auch [17]). In den Bildern 3 bis 8 sind die Jahresmittelwerte inkl. der Standardabweichungen der für die in der 17. BImSchV festgeschriebenen Emissionsgrenzwerte der in Deutschland in Betrieb befindlichen Anlagen aufgezeigt [18].

Die Grenzwerte werden von allen Anlagen sicher eingehalten und stets unterschritten. Je nach installierter Anlagen- und Verfahrenstechnik (das bedeutet die Verwendung eines nassen oder trockenen bzw. einstufigen oder mehrstufigen Verfahrens) unterscheiden sich die erzielten Emissionswerte.

Tabelle 2: Vergleich der Emissionsgrenzwerte verschiedener Richtlinien und Verordnungen für feste Brennstoffe und vergleichbare Feuerungswärmeleistungen [1, 14, 15, 16]

		17. BImSchV Fassung 2003		**EG Richtlinie 2000/76**		**13. BImSchV** Fassung 2004 50 MW < FWL < 300 MW	**TA Luft** Fassung 2002 FWL < 50 MW
Schadstoff	**Einheit**	TMW	HMW	TMW	HMW	TMW	allg. Anforderungen
O_2-Bezug	[Vol.-% tr.]	11		11		6	7 - 11
Staub	[mg/m³]	10	30	10	30	20	20
Gesamtkohlenstoff (TOC)	[mg/m³]	10	20	10	20	-	50
Chlorwasserstoff (HCl)	[mg/m³]	10	60	10	60	-	30
Flourwasserstoff (HF)	[mg/m³]	1	4	1	4	-	3
Kohlenmonoxid (CO)	[mg/m³]	50	100	50	100	150	150
Schwefeldioxid (SO_2)	[mg/m³]	50	200	50	200	200 - 350	350 - 1.300
Stickoxide (NO_2)	[mg/m³]	200	400	200	400	200 - 400	150 - 500
Schwermetalle							
Quecksilber (Hg)	[mg/m³]	0,03	0,05	0,05		0,03	0,05
		Einzelmessungen		Einzelmessungen		Einzelmessungen	
Dioxine und Furane	[ng/m³]	0,1		0,1		0,1	-
Klasse I	[mg/m³]	0,05	-	0,05		0,05*	0,05[2)]
Klasse II	[mg/m³]	0,5		0,5[1)]		0,5*	0,5[3)]
Klasse III	[mg/m³]	0,05		-	-	0,05*	1[4)]

Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf Normzustand, trocken bei dem jeweiligen Bezugssauerstoffwert.

THM bedeutet Tagesmittelwert; HMW bedeutet Halbstundenmittelwert

Schwermetalle Klasse I: Σ Cd / Tl;

Schwermetalle Klasse II: Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Mn, V, Sn ;

Schwermetalle Klasse III: Σ As, Benzoapyren, Cd, Co(aq), Cr(IV)

*gelten nicht für den Einsatz von Kohle, nur für naturbelassenes Holz

[1)] ohne Sn

[2)] gilt für Tl (Einzelstoff)

[3)] gilt für Pb, Co, Ni, Se, Te

[4)] gilt für Sb, Cr, Cn, F, Cu, Mn, V, Sn

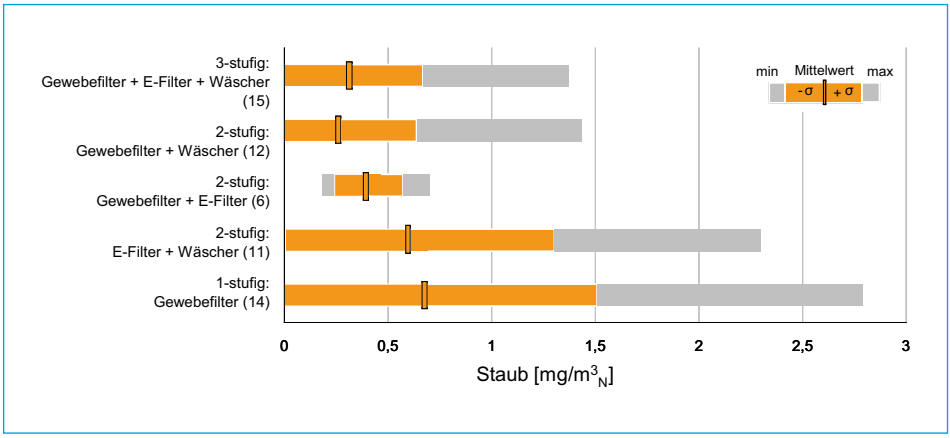


Bild 4: Vergleich der Verfahren zur Abreinigung von Staub (Anzahl der Anlagen in Klammern) [18]

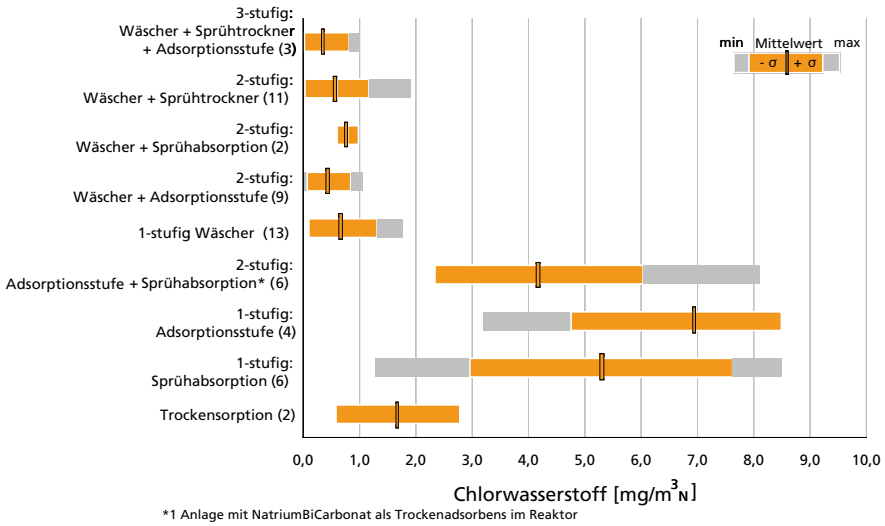


Bild 5: Vergleich der Verfahren zur Abreinigung von Chlorwasserstoff (Anzahl der Anlagen in Klammern) [18]

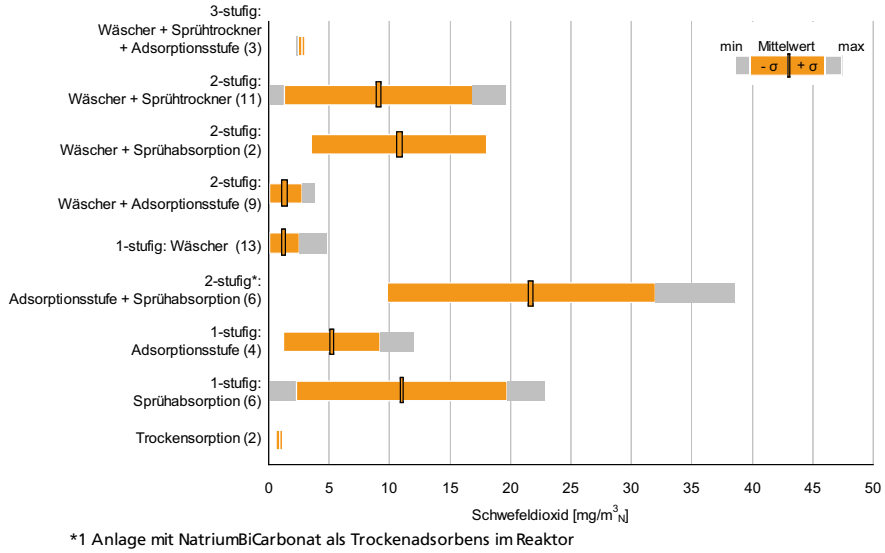


Bild 6: Vergleich der Verfahren zur Abreinigung von Schwefeldioxid (Anzahl der Anlagen in Klammern) [18]

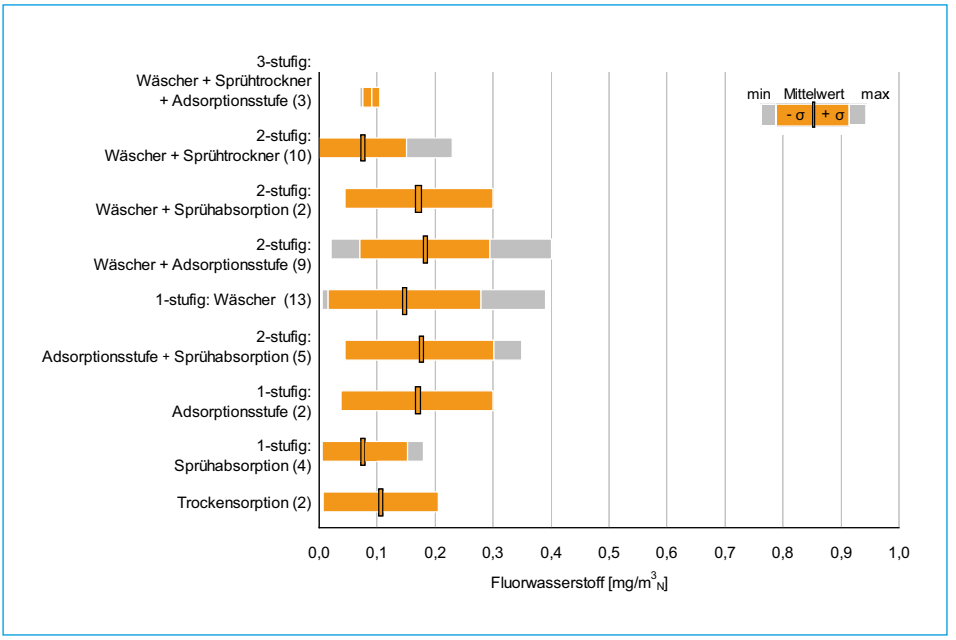


Bild 7: Vergleich der Verfahren zur Abreinigung von Fluorwasserstoff (Anzahl der Anlagen in Klammern) [18]

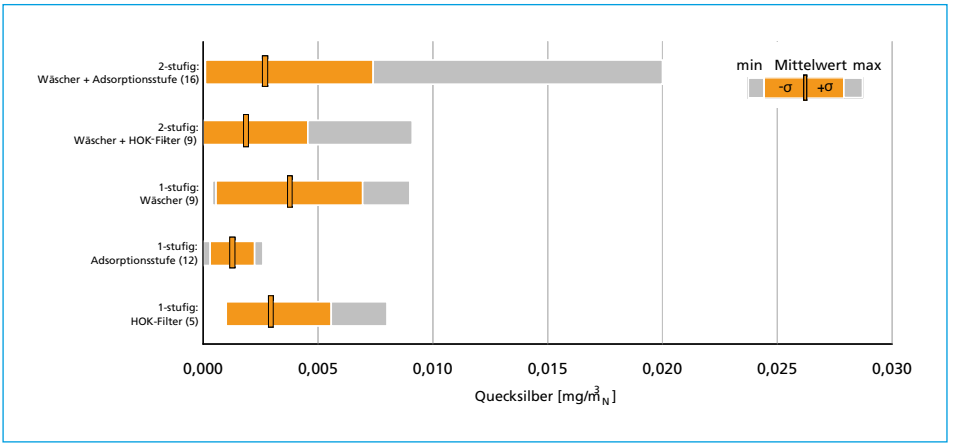


Bild 8: Vergleich der Verfahren zur Abreinigung von Quecksilber (Anzahl der Anlagen in Klammern) [18]

Da aus den bisherigen Untersuchungen nicht hervorgeht, welcher ganzheitlicher Energieaufwand notwendig ist, um eine bestimmte Schadgasabscheidung bzw. ein entsprechendes Emissionsniveau mit unterschiedlichen Abgasreinigungsverfahren sicherzustellen, soll mit der vorliegenden Arbeit über die Ermittlung von emissionsbezogenen Energiekennzahlen ein Bewertungskriterium geschaffen werden, um zukünftige Emissionsanforderungen im Zusammenhang zu den wiederum emissionsführenden Emissionsminderungsaufwendungen (Abgasreinigungsanlagen) gesamtökologisch beurteilen zu können.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zu den in der Literatur genannten Betrachtungen ist, dass die Massen- /Stoff- und Energiebilanzierungen sowie die in Bezug gebrachten Prozessbedingungen und -abhängigkeiten auf ausgeführten Anlagen basieren und keinen fiktiven Annahmen zugrunde liegen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen somit nicht nur eine sehr fundierte technische sondern auch eine politische Grundlage in zukünftigen Diskussionen um Emissionsgrenzwertverschärfungen dar.

Schlagwortverzeichnis

A

Abgasenthalpie 41
Abgaskonditionierung 26
Abgaskühlung 24, 26
Abgasreinigung 1
Abgasreinigungsanlagen 1
Abgasreinigungskomponente 13
Abgasreinigungsverfahren 13
Abgaswäscher 22
Abgaswiederaufheizung 19
Abgaszusammensetzung 1
Abreinigung 39
Abreinigungsfrequenz 43
Abreinigungszyklen 45
Abscheidegrade 2
Abscheideleistung 2
Abscheidepotential 22
Absorption 13
Ammoniakwassereindüsung 16
Apparate- und Stahlbau 33
äquivalenter Energieaufwand 27
Außenfaktoren 37

B

Bauleistung 33
Bauteilebene 33
Befeuchtungsmischer 21
Betriebsenergiebedarf 36
Betriebsmittelverbrauchsmatrix 27
Betriebsmittelverbrauchswerte 28
Bilanzgrenzen 3, 28
Bilanzierung 2
Bilanzierungsmodule 48
Bilanzraum 28
Bodenplatte 33
Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) 1

C

chemische Einflüsse 40
Cl/S-Verhältnis 40

D

Druckluftbedarf 43
Druckverluste 43

E

Einflussfaktoren 38
Einflussgrößen 37
Einzelbilanzkreis 47
Einzelverbrauchswerte 51
Elektroinstallation 33
Emissionen 1
Emissionsanforderungen 11
emissionsbezogene Energiekennzahlen 63
Emissionsbilanz 67
Emissionsfaktoren 65
Emissionsgrenzwerte 1
Emissionsminderung 3
Emissionsminderungsgrade 2
Emissionsminimierung 6
Emissionsniveaus 2, 63
Energieanalysen 3
Energieäquivalente 4
energieäquivalente Emissionsfaktoren 63
Energieaufwendungen 2, 4
Energieauskopplung 24, 60
Energiedifferenz 68
Energieeffizienz 5
Energiegewinnung 51
Energieströme 57
Energie- und Stoffströme 28
Entfernungswege 55
Entsorgung 54
Entsorgungsphase 2

F

Feststoffrezirkulation 40
Feuerungswärmeleistungsklassen (FWLK) 7
Filterelemente 43
Filterflächen 45
Filterflächenbelastung 45
Filterkammer 44
Filtermedium 44
Filterschlauchabreinigung 39
Filtrationsgeschwindigkeit 44
Filtrationsperiode 45
Flächenmasse 43
Füllkörperwäscher 13

G

Gesamteffizienz 40
Gesamtstöchiometrie 48
Gutschrift 55

H

HCl-Emissionsfaktor 67
Heizwert 36, 54
Herstellungsphase 2, 33
Hybridverfahren 20
hygroskopische Calciumchlorid-Salze 42

I

isohumide Zustandsänderung 26

K

Katalysator 19
katalytische selektive Abgasentstickung (SCR) 8
Kennzahlen 63
Kennzahl K-Additiv 63
Kennzahl K-Anlagentechnik 63
Kennzahl K-Betrieb 63
Kumulierter Energieaufwand (KEA) 2, 3

L

Lebenszyklusanalysen (LCA) 6
Luftschadstoffe 7

M

Massen-, Stoff- und Energiebilanzen 2, 3
Materialbilanzen 33
Materialstammbaum 32
Mehremissionen 5, 65
Mehrenergiebedarf 67
Minderemissionen 65
Minderstromerzeugung 68
Mollier-h,x-Diagramm 26

N

nasse und halbtrockene/ trockene Abgasreinigungsverfahren 13
Netzstrukturplan 38
NH_3-Schlupf 15
NH_3-Stripp-Kolonne 20
nicht katalytische selektive Abgasentstickung (SNCR) 8
NO_x-Bilanz 69
Nutzungsphase 2

P

Pausenzeit 45
Primärenergieaufwendungen 27
Primärenergiebedarf 27
Prozesseffizienz 40
Prozesskettenanalysen 3
Prozessparameter 48
Prozessstufen 75

R

rekuperative Abgaskühlung 26, 71
relative Feuchte 22, 26
Reststoffe 1
Reststoffrezirkulationsraten 45
Restwiderstand 44
Richtlinien 9

S

Sankey-Diagramme 57
saure Wäscherstufe 22
Schadgasabscheidung 11
Schadstoffkonzentrationen 4
SCR 8
selektive Abscheideleistungen 14
simultane Verfahren 14
SNCR 8
Sorbentien 27
Sorptionsfilter 14
Sorptionsmittel 41
spezifischer Energiebedarf 51
spezifische Kumulierte Energieaufwendungen 28

spezifischer Dieselverbrauch 55
Sprühwäscher 13
Staubschicht 43
Staubwiderstand 44
Stickoxidminderung 22
Stickstoffoxide 1
Stöchiometrie 26, 38, 41
Stoffübergang und -transport 42
Strommix 4
Systemgrenze 28

T

TA Luft 1
thermische Verwertung 54
Transportaufwendungen 31
Trockensorptionssysteme 1
Trockensorptionsverfahren 14

V

Variabilitätsbetrachtung 38
Varianten 2
Venturiwäscher 13
Verdampfungsenthalpie 41
Verdampfungskühlung (VDK) 26, 71
Verfahrenskombination 22
Verfahrensmatrix 14
verfahrenstechnische Kennzahlen 39
Verfahrensvarianten 15
Verhältnis von Chlor zu Schwefel (Cl/S) 39
Verordnungen 9
Versuchsergebnisse 42

W

Weiterverwertung 54
Wiederverwertung 54